

**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**

**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**E.A.P. DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**Preservación de la distribución y diversidad del  
fitoplancton silíceo en los sedimentos superficiales del  
margen continental frente al Perú y al Ecuador**

**TESIS**

Para optar el Título Profesional de Bióloga con mención en  
Hidrobiología y Pesquería

**AUTOR**

Andrea del Pilar Collantes Biggio

**ASESOR**

Maribel Baylon Coritoma

Lima - Perú

2015

## **DEDICATORIA**

**A mis padres José Humberto y María Luisa**

**A mi querida Végueta**

## **AGRADECIMIENTOS**

Un especial agradecimiento al Dr. Dimitri Gutiérrez Aguilar coordinador del Proyecto Laboratorio Mixto de Investigaciones Paleo-Oceanográficas JEAI-MIXPALEO, por la oportunidad de ser parte de su equipo de investigación. Al Dr. Abdelfetah Sifedine del proyecto PALEOTRACES asociado con el Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD) de Francia por el financiamiento para realizar esta investigación.

A la Dra. Augusta Noemí Ochoa docente principal de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos por ser la persona quien me inspiró para elegir la orientación de Hidrobiología y pesquería, por sus conocimientos impartidos, por aceptar ser maestra y convertirse en una gran amiga.

Al Dr. Pedro Tapia Ormeño, especialista en diatomeas de la Universidad Peruana Cayetano Heredia, por haber aceptado ser mi co-asesor en esta investigación, ser mi guía y enseñarme los métodos de estudio.

Así mismo agradezco a los miembros del Área de Geología Marina del Instituto de Mar del Perú (IMARPE), al Ing. Federico Velasco, la Ing. Juana Solís y al Blgo. Ernesto Fernández por facilitar los ambientes del laboratorio y equipos necesarios para esta investigación, así como sus conocimientos en el tema y amistad brindada, a la Blga. Mónica Sócola, por adiestrarme en la metodología de identificación de diatomeas, También un agradecimiento al equipo del área de Bentos Marino por su colaboración en el muestreo y ayuda logística.

Un agradecimiento especial a la expedición oceanográfica METEOR 77 que se llevó a cabo en el Pacífico Tropical Sudeste, desde fines de octubre de 2008 hasta mediados de febrero de 2009 a bordo del buque de investigación alemán R.V METEOR. Con la colaboración del Centro de Investigación Colaborativo Sonderforschungsbereich SFB 754, Christian-Albrechts Universitaet zu Kiel, "*Climate – Biogeochemistry Interactions in the Tropical Ocean*". La fase 2 (M77-2) de dicha expedición, realizó un programa de trabajo sobre la columna de agua y sedimentos que estuvo orientado al paleoclima entre Callao (Perú) y Guayaquil (Ecuador) entre los días 24 de noviembre y 21 de diciembre de 2008.

Gracias al Proyecto JEAI- MIXPALEO (Laboratorio Mixto de Investigaciones Paleooceanográficas) en conjunto con el Instituto del Mar del Perú (IMARPE), el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) y el Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD) de Francia por haber financiado y subvencionado el presupuesto global de bienes y servicios de esta tesis.

Al Instituto del Mar del Perú, área de Geología Marina por haber prestado sus instalaciones y equipos para los análisis de sedimento y al Laboratorio de Ecología Acuática de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, por facilitar los materiales y equipos necesarios así como las referencias bibliográficas para los análisis de fitoplancton en columna de agua.



## INDICE GENERAL

	Página
<b>1. INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
<b>2. MARCO TEORICO</b>	<b>4</b>
2.1. Sistema de surgencia frente al Perú y Ecuador, productividad primaria y distribución del fitoplancton	4
2.1.1 Sistema de surgencias y masas de agua frente al Perú y Ecuador	4
2.1.2 Productividad primaria y comunidades fitoplanctónicas	4
2.1.3 Ecología y distribución del fitoplancton en las aguas peruanas y ecuatoriales	8
2.2. Fitoplancton silíceo y su relación con los sedimentos superficiales	11
2.2.1 Proceso de disolución de la sílica biogénica	11
2.2.2 Disolución de la Sílica biogénica en columna de agua	13
2.2.3 Disolución de la Sílica biogénica en sedimentos	14
2.2.4 Preservación de la señal silícea y distribución en los sedimentos	15
<b>3 HIPOTESIS</b>	<b>18</b>
3.1. Distribución de las especies fitoplanctónicas silíceas según las masas de agua	18
3.2. Restos silíceos biogénicos en sedimentos superficiales	18
3.3. Diversidad y abundancia relativa del fitoplancton y tafoecosis silícea	18

3.4.	Disolución relativa de las valvas de fitoplancton silíceo	18
<b>4</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>19</b>
4.1.	Objetivo general	19
4.2.	Objetivos específicos	19
<b>5</b>	<b>MATERIALES Y METODOS</b>	<b>20</b>
5.1	Área de Estudio	20
5.2	Colección de muestras	22
5.2.1	Muestra de columna de agua	22
5.2.2	Muestras en sedimento superficial	22
5.2.3	Parámetros fisicoquímicos	26
5.3	Técnicas de análisis	29
5.3.1	Destrucción de Materia Orgánica por el Método de oxidación con ácidos	29
5.3.2	Montaje en láminas de muestra de sedimentos tratadas	30
5.3.3	Montaje de láminas de frotis de sedimento ( <i>Smear slides</i> )	30
5.4	Análisis de Muestra	31
5.4.1	Análisis de muestras de red	31
5.4.2	Análisis de muestras de agua	32
5.4.3	Análisis de sedimento	34

5.5. Formulación y Cálculos aplicados a los datos obtenidos	35
5.5.1. Calculo de Concentración Celular	35
5.5.1.1. Red de fitoplancton	35
5.5.1.2. Sedimento superficial	36
5.5.2. Disolución y preservación relativa	37
5.5.3. Abundancia Relativa	38
5.5.4. Calculo de la Frecuencia Relativa	39
5.5.5. Calculo de la Riqueza de Especies	39
5.5.6. Cálculos de Índices de Dominancia	39
5.5.7. Calculo de Índices de Diversidad	40
5.5.8. Cálculo de Índices de Similitud	41
5.6. Procesamiento de datos y análisis estadísticos	41
<b>6 RESULTADOS</b>	<b>43</b>
6.1 Factores Fisicoquímicos	43
6.1.1. Temperatura superficial del mar (TSM)	44
6.1.2. Salinidad	44
6.1.3. Oxígeno Disuelto	46
6.1.4. Masas de agua	47
6.1.5. Correlaciones entre los parámetros fisicoquímicos y las variables de abundancia celular en columna de agua y sedimento.	54
6.2. Fitoplancton síliceo en columna de agua	55
6.2.1. Análisis Cualitativos (Arrastre Vertical)	55
6.2.1.1. Estructura comunitaria de las especies fitoplanctónicas	55

6.2.1.2. Variación latitudinal	57
6.2.2. Análisis Cuantitativos en Columna de Agua	68
6.2.2.1. Estructura comunitaria	68
6.2.2.2. Distribución vertical	69
6.3 Fitoplancton silíceo en Sedimento Superficial	73
6.3.1. Análisis cualitativo	73
6.3.2. Análisis cuantitativo	75
6.4 Diversidad y Dominancia	77
6.5. Relación entre columna de agua y sedimento superficial	81
6.5.1 Disolución y Preservación	81
6.5.1.1. Columna de agua	81
6.5.1.2. Sedimento superficial	82
6.5.2 Comparación entre columna de agua y sedimento	90
<b>7 DISCUSION</b>	<b>94</b>
7.1 Columna de Agua	94
7.2. Sedimento Superficial	100
<b>8. CONCLUSIONES</b>	<b>108</b>
<b>9. RECOMENDACIONES</b>	<b>111</b>
<b>10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b>	<b>112</b>
<b>11. ANEXOS</b>	<b>125</b>
<b>12. GLOSARIO</b>	<b>139</b>
<b>13. LÁMINAS</b>	<b>140</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades de las masas de agua frente a la costa peruana	5
Tabla 2. Distancia a costa de las estaciones de muestreo	23
Tabla 3. Muestras de fitoplancton con la red de arrastre vertical	24
Tabla 4. Muestras de fitoplancton con roseta oceanográfica	25
Tabla 5. Muestras de sedimentos con MUC	26
Tabla 6. Parámetros fisicoquímicos a nivel superficial	27
Tabla 7. Parámetros fisicoquímicos en columna de agua	28
Tabla 8. Valores de Temperatura (°C), Salinidad (ups) y Oxígeno disuelto (ml/L) en las estaciones de muestreo a nivel superficial	46
Tabla 9. Distribución vertical de los parámetros fisicoquímicos en columna de agua	50
Tabla 10. Correlación de los parámetros fisicoquímicos y las variables de abundancias celulares en columna de agua y en sedimento superficial	52
Tabla 11. Relación de especies de fitoplancton síliceo colectadas	56
Tabla 12. Densidad total de diatomeas (cel.L <sup>-1</sup> ) por estaciones de muestreo	69

Tabla 13. Densidad de individuos ( $\text{cel.ml}^{-1}$ ), riqueza de especies (S)	78
Diversidad de Shannon ( $H'$ ), dominancia de Simpson ( $D'$ )	
y equidad de Pielou ( $J'$ ), en muestras de arrastre vertical	
Tabla 14. Densidad de individuos ( $\text{N}^\circ \text{ cel.ml}^{-1}$ ), riqueza de especies (S),	80
Diversidad de Shannon ( $H'$ ), dominancia de Simpson ( $D'$ )	
y equidad de Pielou ( $J'$ )	
en muestras de sedimento superficial	
Tabla 15. Valvas de diatomeas (%) y grado de preservación	83
en sedimento superficial.	
Tabla 16. Abundancia relativa (%) valvas de diatomeas y	85
grado de disolución en sedimento superficial.	
Tabla 17. Descripción cualitativa de sedimentos superficiales	89

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Masas de agua superficiales.	5
Figura 2. Masas de aguas sub-superficiales	6
Figura 3. Producción exportada de Ópalo vs. Ópalo en sedimento superficial (%)	12
Figura 4. Ciclo del Sílice en el Océano	13
Figura 5. Distribución de las estaciones de muestreo	21
Figura 6. Esquema resumen de la metodología empleada para análisis en columna de agua	33
Figura 7. Esquema resumen de la metodología empleada para análisis en sedimento superficial	34
Figura 8. Secciones latitudinales de CTD (temperatura, salinidad, oxígeno) colectados durante la expedición M77-2.	43
Figura 9. Variación latitudinal de los valores de temperatura (°C), Salinidad (ups) y Oxígeno disuelto (ml/L) en las estaciones de muestreo	45
Figura 10. Datos de temperatura y salinidad superficial	48
Figura 11. Perfiles verticales de temperatura (°C), salinidad (ups) y oxígeno disuelto (ml/L) frente a Callao	51
Figura 12. Perfiles verticales de temperatura (°C), salinidad (ups) y oxígeno disuelto (ml/L) frente a Chimbote	51
Figura 13. Perfiles verticales de temperatura (°C), salinidad (ups) y oxígeno disuelto (ml/L) frente a Trujillo	52

Figura 14. Perfiles verticales de temperatura (°C), salinidad (ups) y oxígeno disuelto (ml/L) frente a Piura	52
Figura 15. Perfiles verticales de temperatura (°C), salinidad (ups) y oxígeno disuelto (ml/L) frente a Tumbes	53
Figura 16. Porcentaje de grupos de fitoplancton colectadas por arrastre vertical en las estaciones de muestreo	55
Figura 17. Abundancia relativa (%) de las especies de fitoplancton	57
Figura 18. Abundancia relativa (%) de las especies de dinoflagelados	58
Figura 19. Variación de la densidad celular (cel.m <sup>3-1</sup> ) de especies de diatomeas	59
Figura 20. Variación de la abundancia relativa (%) de especies de diatomeas	60
Figura 21. Variación de la densidad celular (cel.m <sup>3-1</sup> ) de especies de dinoflagelados	61
Figura 22. Variación de la abundancia relativa (%) de especies de dinoflagelados	62
Figura 23. Variación de la frecuencia relativa (%) de especies de diatomeas	64
Figura 24. Variación de la frecuencia relativa (%) de especies de dinoflagelados	65
Figura 25. Riqueza de especies diatomeas en arrastre vertical	66
Figura 26. Dendograma de similaridad (análisis cluster) en arrastre vertical	67
Figura 27. Porcentaje de grupos de fitoplancton colectadas en columna de agua	68
Figura 28. Densidad total de fitoplancton (cel.L <sup>-1</sup> ) a diferentes profundidades	70
Figura 29. Variación de la densidad de fitoplancton (cel.L <sup>-1</sup> )	71



a diferentes profundidades en las estaciones de muestreo

Figura 30. Porcentaje de grupo de fitoplancton, en sedimento superficial 73

Figura 31. Riqueza de especies en sedimento superficial 74

Figura 32. Concentración de valvas en sedimento seco (valvas.g<sup>-1</sup>) 75

Figura 33. Dendograma de similaridad (análisis cluster) 76

en sedimento superficial

Figura 34. Índices comunitarios Dominancia, Diversidad de Shannon (H'), 79

dominancia de Simpson (D') y equidad de Pielou (J'),

en muestras de arrastre vertical

Figura 35. Índices comunitarios Dominancia, Diversidad de Shannon (H'), 81

dominancia de Simpson (D') y equidad de Pielou (J'),

en muestras de sedimento superficial

Figura 36. Valvas de diatomeas (%) y grado de preservación 84

en sedimento superficial

Figura 37. Concentración de tafocenosis (x10<sup>6</sup> .g<sup>-1</sup>) en sedimento seco de 87

espículas de esponjas y esqueletos de radiolarios en sedimento superficial

Figura 38. Abundancia relativa en porcentaje por especies de diatomeas 88

en sedimento superficial.

Figura 39 Dendograma de similaridad (análisis cluster) de las asociaciones 91

de especies en columna de agua y sedimento superficial

Figura 40: Comparación de las taxas más abundantes 93

## RESUMEN

Con la finalidad de determinar la preservación de la diversidad y distribución del fitoplancton silíceo en los sedimentos superficiales del margen continental frente al Perú y Ecuador se analizaron 110 muestras de columna de agua y sedimento superficial de 29 estaciones de muestreo ubicadas entre 13 y 100mn de distancia a costa y de 59 hasta 2607m de profundidad distribuidas latitudinalmente frente a un perfil paralelo al margen continental desde la línea ecuatorial (Ecuador) hasta mar afuera de Punta San Fernando, Ica (Perú) durante la primavera del 2008.

Se identificaron un total de 48 especies de fitoplancton silíceo, siendo las diatomeas las más abundantes (45 especies). En la columna de agua se determinó que la disolución relativa del fitoplancton se produce a los 50m de profundidad. Existió una moderada a buena preservación de especies en los sedimentos, en mayor proporción de diatomeas más robustas tales como *Thalassionema nitzschioides* var *nitzschioides* (35,2%), *Thalassionema nitzschioides* var *parva* (9,9%) *Cyclotella striata* (5%) y esporas de *Chaetoceros* sp. (5,8%). Entre las especies de fitoplancton silíceo también se preservaron silicoflagelados como *Dictyocha fibula*, y *Octactis octonaria*. Las especies fitoplanctónicas silíceas mostraron una distribución típica propia de las masas de agua que participan dentro del área de estudio.

*Palabras Claves: Masas de agua, Fitoplancton silíceo, Diatomeas, Disolución relativa, Sedimento Superficial.*

## ABSTRACT

In order to determine the preservation of the diversity and distribution of siliceous phytoplankton in surface sediments of the continental margin offshore Peru and Ecuador, 110 samples of the water column and surface sediments from 29 sampling stations between 13nm to 100nm offshore and 59m to 2607m deep, distributed latitudinally in front of a parallel profile to the continental margin from the equator (Ecuador) to Punta San Fernando offshore, Ica (Peru), during the spring of 2008,

A total of 48 species had been identified, being diatoms the most abundant (45 species). It was determined that the relative dissolution of phytoplankton occurs at 50m depth in the water column. There is a good preservation of species in the sediment, a greater proportion of more robust diatoms such as *Thalassionema nitzschioides* var *nitzschioides* (35,2%), *Thalassionema nitzschioides* var *parva* (9,9%) *Cyclotella striata* (5%) and spores *Chaetoceros* sp. (5,8%). Among the siliceous phytoplankton species are also preserved silicoflagellates such as *Dictyocha fibula* and *Octactis octonaria*. Siliceous phytoplankton species show a typical distribution characteristic of water mass in the area of study.

*Keywords: Water Mass, Siliceous phytoplankton, Diatoms, Relative dissolution, Surface sediments*

## 1. INTRODUCCIÓN

Uno de los sistemas más productivos del mundo es el sistema de surgencias de la Corriente Peruana, el cual se extiende a lo largo del Pacífico Sur Oriental frente a Chile y Perú. Estas aguas de surgencia atraen un considerable interés porque en ellas se desarrolla la pesquería industrial destacándose entre ellas la de anchoveta, uno de los pilares de la economía del Perú (BLASCO 1971; GRACO *et al.*, 2007).

Existe gran correspondencia entre las áreas de surgencia, la productividad marina y la producción pesquera a lo largo de la costa peruana (ZUTA Y GUILLÉN, 1970). Una de las comunidades fundamentales de este sistema es el fitoplancton y dentro de ella las diatomeas (Bacillariophyceae) son las dominantes, produciendo una alta productividad primaria. Además las diatomeas son importantes en el ciclo biogeoquímico del silicio y el hierro, así como en la fijación global de anhídrido carbónico.

Las diatomeas toman el ácido silícico disuelto en el agua, precipitándolo en forma de Si opalino (ópalo) para formar sus frústulos. El ácido silícico es incorporado por transportadores específicos y polimerizado intracelularmente en vesículas de deposición, lo que da como resultado sílice hidratada amorfa que es depositada en las paredes celulares o frústulos, por lo tanto este compuesto es para las diatomeas un factor limitante (BALECH Y FERRANDO, 1964; RUSSEL & HUNTER, 1970; AGUIRRE *et al.*, 2007).

La disolución del Si opalino ocurre principalmente en la columna de agua. Al morir las diatomeas, las especies con valvas mas frágiles se van disolviendo, mientras que las especies más resistentes tienen mayores probabilidades de que se preserven en el registro sedimentario (SCHRADER, 1972; DE MASTER, 2003).

Estos tipos de procesos son complejos y a veces no están bien descritos o son aún poco conocidos, resultando complicada la lectura de los registros sedimentarios en términos de paleoproductividad, (BERNÁRDEZ *et al.*, 2005). Por ello es necesario un estudio integral de los mismos para obtener una mejor comprensión de la relación entre el registro de diatomeas en los sedimentos y los procesos de regulación de la dinámica del fitoplancton en áreas productivas.

De esta manera existe la necesidad de calibrar y comparar la información oceanográfica que nos dan estos marcadores biosilíceos (Nelson *et al.*, 1995; Ragueneau *et al.*, 2000) y su uso como proxies (ver glosario) o registros de aproximación que permiten la reconstrucción de climas pasados y condiciones pasadas del océano en sedimentos laminados anóxicos del margen continental, para hacer una mejor interpretación de la reconstrucción a alta resolución de la variabilidad y evolución del sistema de surgencias frente al Perú.

La alta productividad en las aguas superficiales promueve el desarrollo y mantenimiento de una marcada Zona Mínima de Oxígeno (ZMO) (HELLY Y LEVIN, 2004), que inhibe la bioturbación de los sedimentos dando así lugar a la acumulación y preservación de altos contenidos de materia orgánica en los sedimentos de fondo (SIFEDDINE *et al.*, 2008).

En este contexto, los sedimentos superficiales de la plataforma continental reflejan la productividad del fitoplancton de la columna de agua y resultan ser sensibles indicadores a diversos cambios físicos, químicos y biológicos, y a su vez integran diversas señales oceanográficas en un espectro de diferentes escalas temporales (QUIPUZCOA *et al.*, 2007).

Así, la producción primaria está basada en gran medida tanto en la materia orgánica exportada así como en la producción biosilíceas y por tanto, su conservación en el registro sedimentario sirve para caracterizar las interacciones entre los sistemas

atmosférico, oceánico y geológico. Es por este motivo que el registro de sílice biogénico en los sedimentos se utiliza como indicador de reconstrucción de la paleoproduktividad (SANCETTA Y SILVESTRI, 1986; ABRANTES, 1988; BARRON *et al.*, 2003).

Las diatomeas son útiles por su abundancia, amplia distribución y buena preservación su sensibilidad a los cambios de temperatura, salinidad y nutrientes las hacen muy buenas indicadoras en reconstrucciones oceanográficas (MOHAN *et al.*, 2006). Las especies de diatomeas varían con las condiciones ambientales y las asociaciones encontradas en el sedimento pueden revelar las condiciones reinantes al momento de la deposición (ABRANTES, 1998; ROMERO & HEBBELN, 2003).

Igualmente las diatomeas son excelentes indicadoras de las características físico-químicas y de los procesos oceanográficos que ocurren en la columna de agua. Además, ellas constituyen un grupo fósil relativamente abundante en las muestras objeto de estudio (NELSON *et al.*, 1995; RAGUENEAU *et al.*, 2000).

El conocimiento de estos aspectos y de su influencia en el registro reciente es el paso previo para, en un futuro, aplicar los resultados obtenidos a una interpretación más exhaustiva del registro fósil.

El presente estudio contribuirá a la calibración de los restos silíceos como registros de aproximación, mediante determinaciones de su ocurrencia actual en la columna de agua y en el sedimento superficial, permitiendo entender la evolución del sistema de surgencia frente a la costa peruana, las condiciones actuales y poder predecir las futuras.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Sistema de surgencia frente al Perú y Ecuador, productividad primaria y distribución del fitoplancton**

#### ***2.1.1. Sistema de surgencias y masas de agua frente al Perú y Ecuador***

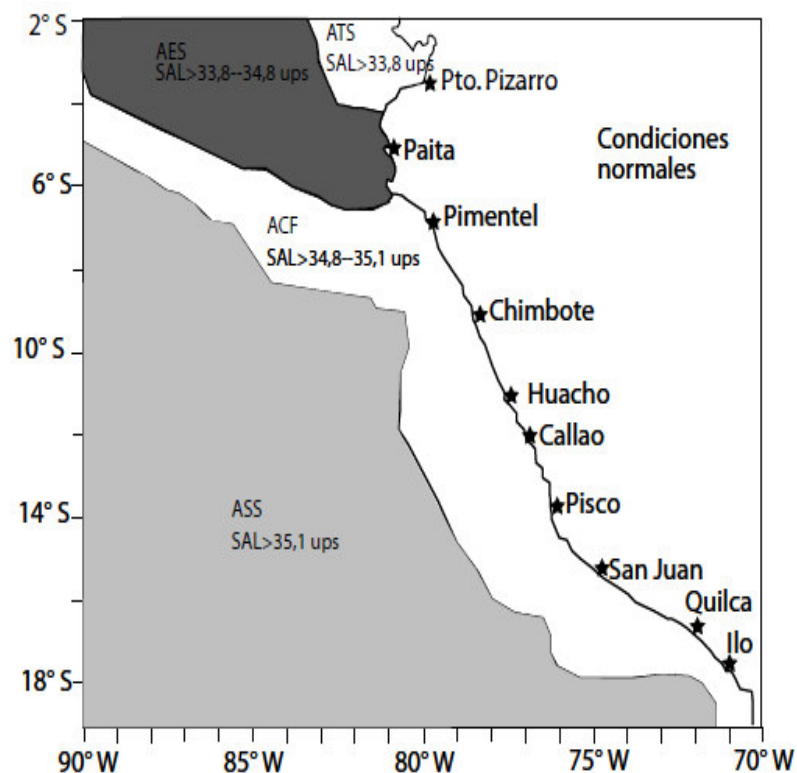
El Sistema de la Corriente de Humboldt está fuertemente influenciado por la surgencia costera, y es uno de los ecosistemas marinos más productivos del mundo (GRACO *et al.*, 2007; PENNINGTON *et al.*, 2006; ZUTA Y GUILLÉN, 1970; BAKUN *et al.*, 2008). Esta alta productividad en las aguas superficiales promueve el desarrollo y mantenimiento de una marcada Zona Mínima de Oxígeno (ZMO) (HELLY Y LEVIN, 2004), que inhibe la bioturbación de los sedimentos dando así lugar a la acumulación y preservación de altos contenidos de materia orgánica en los sedimentos de fondo (SIFEDDINE *et al.*, 2008).

A lo largo de la costa peruana, la surgencia es muy superficial y está restringido principalmente a una profundidad menor de 100 m; su intensidad varía de acuerdo al año, siendo más intensa en el invierno y mínima en el verano (ZUTA Y GUILLÉN, 1970).

La surgencia puede alimentarse de diferentes masas de agua que provienen de las cuatro regiones climáticas del Océano Pacífico: la región ecuatorial, subtropical, subantártica y antártica (tabla 1). Entre ellas se puede mencionar: (1) A nivel superficial: las Aguas Costeras Frías (ACF), Aguas Subtropicales Superficiales (ASS), Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES) y Aguas Tropicales Superficiales (ATS); y (2) Masas de aguas subsuperficiales (figura 2): Aguas Ecuatoriales Subsuperficiales (AESS), Aguas Ecuatoriales Profundas (AEP), Aguas Templadas de la Subantártica (ATSA) y Aguas Antárticas Intermedias (AAI), cada una con características específicas (ZUTA Y GUILLÉN, 1970) (figura 1).

*Tabla 1 Propiedades de las masas de agua frente a la costa peruana (Zuta y Guillén, 1970; Graco et al., 2007)*

MASA DE AGUA	PROFUNDIDAD (m)	TEMPERATURA ( °C)	SALINIDAD (ups)	CARACTERÍSTICAS
Aguas Tropicales Superficiales (ATS)	0 - 20	>25	< 33,8	Mínimo absoluto de salinidad
Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES)	0 - 30/40	>20	33,8 - 34,8	Mínimo relativo de salinidad
Aguas Subtropicales Superficiales (ASS)	0 - 100	18 - 27	35,1 - 35,7	Máximo relativo de Salinidad y máximo relativo de oxígeno
Aguas Subantárticas (ASA)	0 - 100	13 - 15	34,6 - 34,8	Mínimo relativo de salinidad, máximo relativo de oxígeno
Aguas Ecuatoriales Subsuperficiales (AEES)	50 - 300	13 - 15	34,9 - 35,1	Máximo relativo de salinidad, mínimo de oxígeno



*Figura 1. Masas de agua superficiales ATS: Aguas Tropicales Superficiales, AES: Aguas Ecuatoriales Superficiales, ACF: Aguas Costeras Frías y ASS: Aguas Subtropicales Superficiales (Graco et al., 2007).*



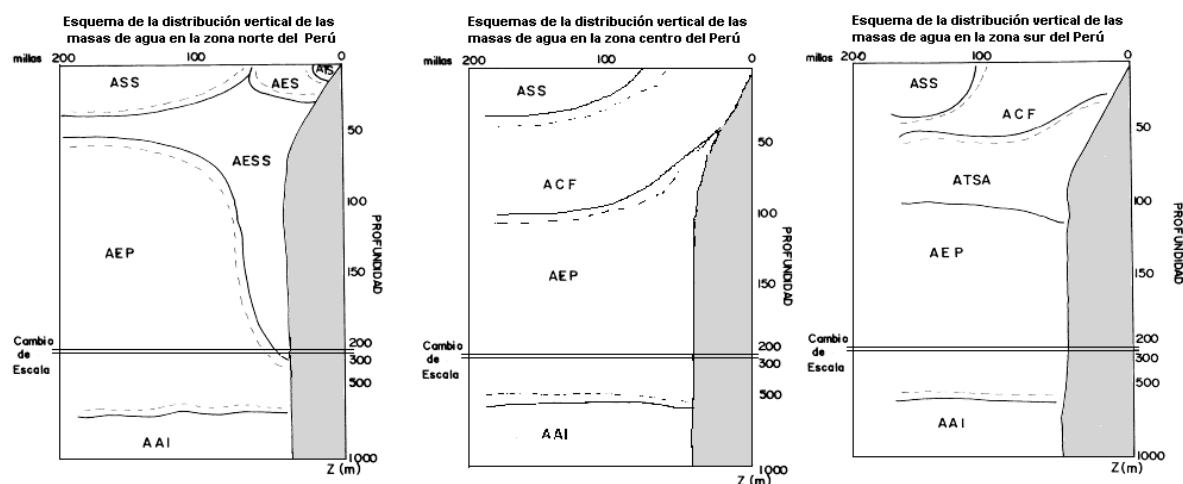


Figura 2. Masas de aguas sub-superficiales (Morón & Sarmiento, 1999)

### 2.1.2. Productividad primaria y comunidades fitoplanctónicas

Las aguas costeras de Perú son conocidas por la alta producción primaria y secundaria (GUILLÉN *et al.*, 1971). ZUTA Y GUILLÉN (1970) evalúan la productividad primaria en áreas costeras peruanas desde los 4º hasta los 12º determinando que Pimentel, Huarmey y Callao son las áreas que presentan la mayor productividad a lo largo de la costa.

Según ZUTA Y GUILLEN (1970) a lo largo de la costa peruana se presentan áreas de afloramiento cuya intensidad varía de acuerdo a las estaciones del año, en invierno en las siguientes latitudes 5°, 7°, 9°, 12°, 14 – 16° S. y en primavera a los 7°, 12° y 15° S. Las diatomeas fisiológicamente tienen los mismos requerimientos que las plantas verdes como el agua, dióxido de carbono, luz solar y ciertas sustancias inorgánicas como los fosfatos y nitratos, nutrientes que en algunas ocasiones constituyen factores limitantes para su crecimiento.

Las diatomeas tienen gran importancia dentro de los procesos biológicos de los mares, son autótrofos y sirven de alimento directa o indirectamente a los organismos

presentes, constituyendo el primer eslabón de la trama trófica en el ecosistema marino. Algunas especies son buenos indicadores biológicos de las masas de agua que rodean nuestras costas y otras son productoras de mareas rojas.

Así mismo actúan como detectores paleontológicos muy sensibles (BALECH Y FERRANDO, 1964). Las especies más abundantes se caracterizan por su alta tasa de reproducción, particularmente en aguas turbulentas y ricas en nutrientes, por esta razón se han realizado estudios sobre la composición, distribución espacial del fitoplancton, su variación y su relación con las condiciones ambientales. Así mismo existen algunas investigaciones sobre el conocimiento de la estructura poblacional del fitoplancton a través del estudio del Índice de Diversidad que sirve para expresar la riqueza de las especies de la comunidad fitoplanctónica, similitud del comportamiento entre especies y su grado de afinidad entre ellas. (ROJAS DE MENDIOLA, 1981).

La producción primaria es mayor en las zonas de surgencia donde los nutrientes tales como fosfato y nitratos son llevados a la superficie. A medida que más nutrientes (incluyendo micronutrientes como el hierro y otros compuestos limitantes como el sílice) están disponibles en la zona fótica, la actividad del fitoplancton, y especialmente la de las diatomeas, aumenta drásticamente (MARGALEF, 1978).

### **2.1.3 Ecología y distribución del fitoplancton en las aguas peruanas y ecuatoriales**

La ecología y distribución del fitoplancton de las aguas costeras peruanas han sido estudiadas por LANDA (1953) quien analizó las variaciones diarias del fitoplancton superficial en Chimbote; BARREDA (1957) estudió la distribución y composición del fitoplancton del área de Pisco, siendo ambas zonas típicas de surgencia.

CALIENES (1966) estudió las fluctuaciones del fitoplancton en relación con los fosfatos, temperatura y el desove de la anchoveta en el área de Callao encontrando que las diatomeas fueron el grupo integrante principal de su dieta y que los nutrientes constituyen uno de los principales elementos para la realización de la fotosíntesis por los organismos del fitoplancton.

STRICKLAND *et al.*, (1969) estudiaron la producción primaria, nutrientes y fitoplancton en áreas seleccionadas en la corriente del Perú, determinando que la producción primaria en áreas cerca de la costa supera los 200 g C/m<sup>2</sup> /año. SMAYDA (1969), afirmó que las diatomeas constituyen una manera excepcional de exportación de carbono al fondo marino.

GUILLÉN *et al.*, (1971) estudiaron el fitoplancton y la producción primaria en las aguas de la costa peruana, determinando que durante la primavera y verano los fosfatos son más requeridos por el fitoplancton como consecuencia de la intensidad luminosa y ello favorece a la fotosíntesis.

BLASCO (1971) investiga la composición y distribución del fitoplancton en el área de San Juan cuyas características corresponden a una zona de surgencia típica donde se representan las etapas de sucesión cuyo núcleo corresponde a diatomeas de pequeño

tamaño y alta tasa de reproducción, seguido de las diatomeas de mayor tamaño y por último los dinoflagelados.

ROJAS DE MENDIOLA Y ESTRADA (1976) estudiaron el fitoplancton en el área de Pimentel, mostrando en general que la población fitoplanctónica estuvo formada por especies pequeñas de gran dinamismo y de diatomeas grandes y dinoflagelados acorde con las etapas de sucesión fitoplanctónica.

Rojas de Mendiola (1981) realizó una síntesis de los estudios fitoplanctónicos durante 10 años de 1961 a 1970 evaluando la distribución estacional del fitoplancton en la costa peruana indicando centros con altas densidades que están relacionadas con las principales áreas de surgencia. Así mismo se determinó que las concentraciones medias del fitoplancton son mayores durante la primavera y el verano ya que se presentan condiciones favorables de intensidad luminosa y estabilidad en la columna de agua.

Ochoa y Gómez (1981) estudiaron las variaciones del fitoplancton en el área de Chimbote durante 1977 encontrándose esta zona altamente productiva con fitoplancton típico de áreas de surgencia costera.

En las regiones costeras de afloramiento, los dominantes primarios son las diatomeas (ESTRADA Y BLASCO, 1985) porque tienen alta velocidad de hundimiento en conjunto o individualmente, agregadas, enteras o en pellets fecales.

OCHOA Y GÓMEZ (1988), determinaron la variación espacio-temporal del fitoplancton frente al Callao durante 1986 observan que la composición del fitoplancton varía latitudinal y longitudinalmente y que las mayores concentraciones de fitoplancton se

encuentran dentro de las 30 millas, asociadas a las Aguas Costeras Frías ricas en nutrientes.

SÁNCHEZ *et al.*, (1988) estudiaron la composición y distribución del fitoplancton en áreas costeras del litoral peruano (Pimentel - Ilo) donde el microfitoplancton fue el grupo más importante conformado por diatomeas neríticas, asociadas a especies típicas de surgencia.

Los trabajos de SCHUETTE (1980), ABRANTES (1988), ABRANTES Y MOITA (1999) han demostrado que las asociaciones de surgencia se caracterizan por el predominio del género *Chaetoceros*, cuyas esporas de resistencia están en general bien preservadas en los sedimentos. Las variaciones en la abundancia de especies de diatomeas se pueden utilizar para rastrear la variabilidad de surgencia a lo largo de los lugares más marginales.

Reportes de SANCETTA Y SILVESTRI (1986), ABRANTES (1988) y BARRON *et al.*, (2003) han mostrado a las diatomeas como una herramienta para evaluar las condiciones oceánicas del pasado y son indicadoras de gran escala para las reconstrucciones paleoecológicas. Estos registros preservan una gran cantidad de información relativa a las condiciones de productividad del pasado y reflejan actualmente propiedades ambientales de la columna de agua tales como temperatura y productividad (SCHRADER Y SORKNES, 1990; ABRANTES, 2000 y ABRANTES *et al.*, 2007).

OCHOA Y GÓMEZ (1997) estudiaron los dinoflagelados del mar peruano como indicadores de masas de agua durante los años 1982 a 1985 relacionando la distribución de los dinoflagelados con la temperatura y la salinidad durante los períodos "El Niño", "post-niño" y "normal", frente a la costa peruana (3°S a 18°30 'S), encontrándose que en condiciones "El Niño" disminuye la densidad de los

dinoflagelados pero aumenta la diversidad, registrándose numerosas especies foráneas cerca de la costa. Se confirma y determinan algunas especies indicadoras de las diferentes masas de agua frente al Perú.

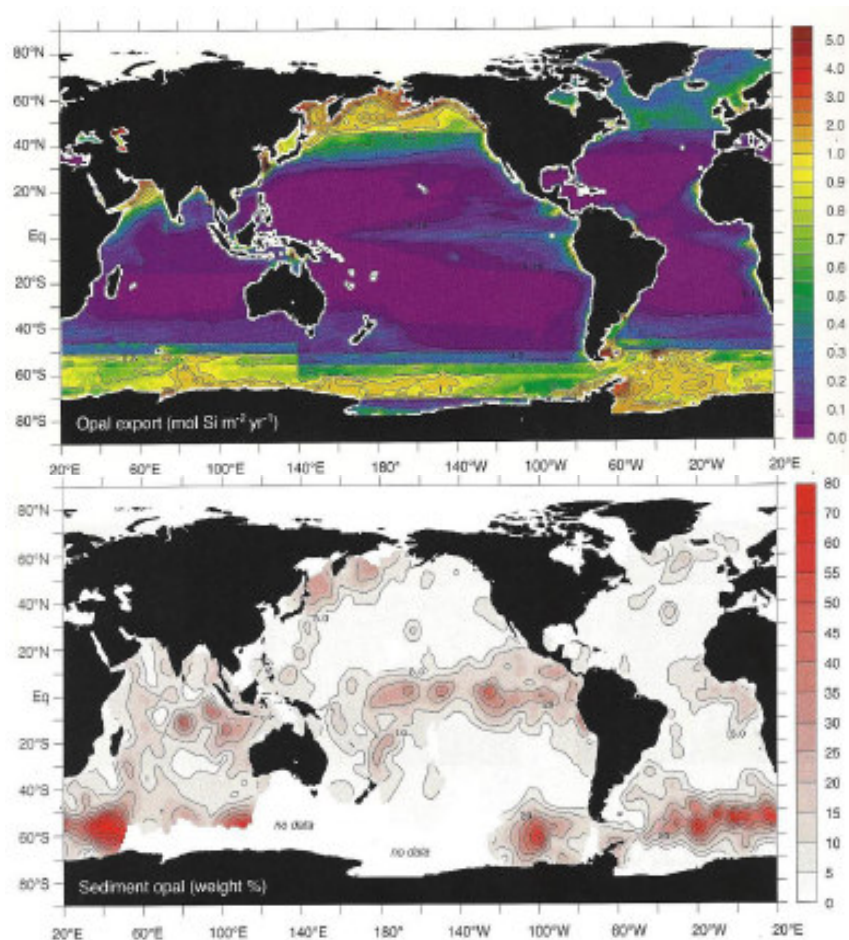
JIMÉNEZ (1977), describió la distribución del fitoplancton en el frente ecuatorial; el mismo autor en 1983 indicó que los valores máximos de fitoplancton se distribuyen ampliamente enriqueciendo las aguas costeras y oceánicas del Ecuador durante la época de mayor desarrollo de los gradientes termohalinos del frente ecuatorial (mayo-septiembre).

## **2.2. Fitoplancton silíceo y su relación con los sedimentos superficiales**

### **2.2.1 Proceso de disolución de la sílica biogénica**

Entre los principales factores que regulan la producción de sílica biogénica (Si) se encuentran primeramente la disponibilidad de Sílice disuelta, la disponibilidad de luz y la disponibilidad de macronutrientes como el  $\text{NO}_3$  y micronutrientes como el Fe (DE MASTER, 2003)

Las diatomeas explican el 40% de la producción primaria en la capa fótica y contribuyen de manera sustancial a la concentración del ópalo biogénico (ácido silícico  $\text{SiO}_2$  precipitado) a los sedimentos de tal manera que las fluctuaciones en la concentración de Sílice opalino pueden ser utilizadas como indicador de las fluctuaciones temporales de la abundancia de diatomeas (SARMIENTO & GRUBER, 2006). (figura 3).



*Figura 3 Producción exportada de Ópalo vs. Ópalo en sedimento superficial (%)*

*(Sarmiento & Gruber, 2006)*

Un 75% de la sílica biogénica que abandona la capa fótica es remineralizada principalmente en la columna de agua (DE MASTER, 2003).

Las diatomeas toman el ácido silícico ( $\text{SiO}_2$ ) disuelto en el agua, precipitándolo en forma de Si opalino (ópalo) para formar sus frústulos. La disolución del Si opalino ocurre principalmente en la columna de agua. Al morir las diatomeas, las especies con valvas más frágiles se van disolviendo, mientras que las especies más resistentes

tienen mayores probabilidades de que se preserven en el registro sedimentario (DE MASTER, 2003) (figura 4).

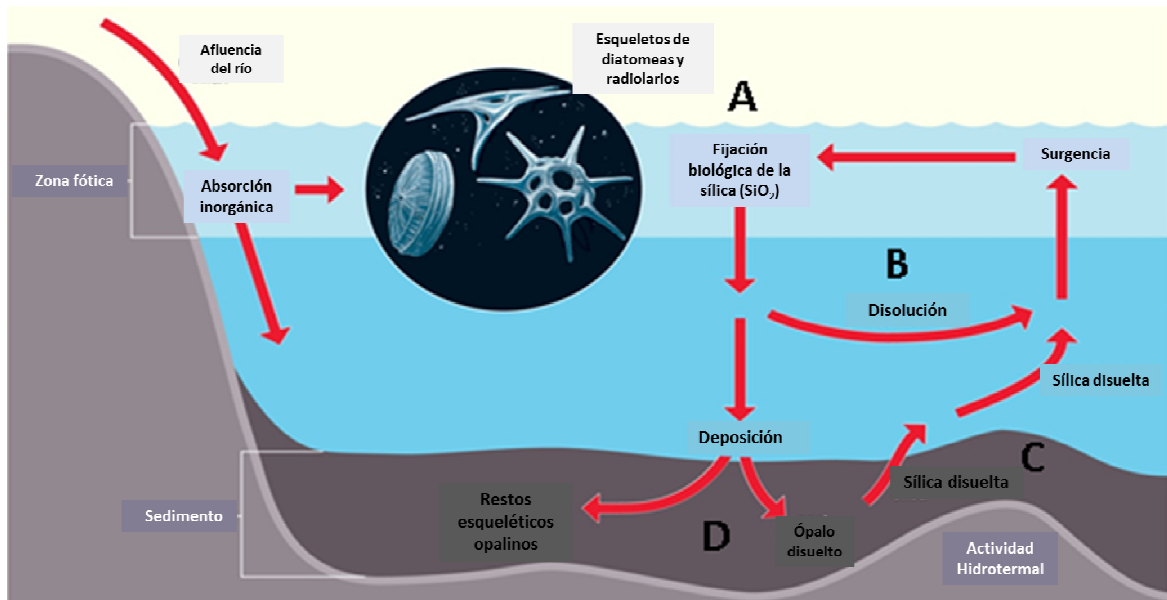


Figura 4. Ciclo del Sílice en el Océano

A). Las diatomeas y radiolarios toman el ácido silícico ( $\text{SiO}_2$ ) disuelto en el agua y lo precipitan en forma de Si opalino (ópalo) para formar sus frústulos. B). En la columna de agua, el Si opalino se disuelve. C). Al morir, las especies con valvas más frágiles se van disolviendo y son devueltas a la zona fótica por surgencia D). Las especies más resistentes tienen mayores probabilidades de preservarse en el registro sedimentario.

Modificado de Enciclopedia Británica 1996, Inc.

### 2.2.2 Disolución de la Sílica biogénica en columna de agua

Los factores que estarían modulando la disolución de la sílica biogénica en la columna de agua pueden ser de tipo termodinámicos en función principalmente de la temperatura (a mayor temperatura mayor disolución) y al pH (un valor más alcalino aumenta también la tasa de disolución) (SCHULZ, H. & M. ZABEL, 2006).



La tasa de hundimiento en función básicamente de la geometría de las partículas así como la agregación de las mismas puede retardar el proceso de disolución. La edad de las partículas de Si biogénica retardarían también estos procesos al igual que la cobertura orgánica de las partículas. Por el contrario la alta tasa de degradación bacteriana estaría favoreciendo a una mayor disolución (SCHULZ, H. & M. ZABEL, 2006).

### ***2.2.3 Disolución de la Sílica biogénica en sedimentos***

El proceso de disolución de la sílica biogénica en los sedimentos se encuentra relacionado principalmente a la diagénesis temprana. Más del 80% del flujo de Si biogénico a los sedimentos es remineralizado durante la diagénesis (DE MASTER, 2003).

Existe un límite superior para la pérdida de silicatos desde los sedimentos a la columna de agua debido a consideraciones termodinámicas. Si el flujo vertical de sílica biogénica supera este umbral, ocurre preservación ( $2 \text{ mmol m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ) (DE MASTER, 2003).

La concentración y liberación de silicatos en el agua intersticial es controlada por la concentración de Si biogénica en la fase sólida (DE MASTER, 2003).

La comparación de distintos ambientes sedimentarios muestra que en ambientes de flujo bajo, la eficiencia de entierro del ópalo es aproximadamente un 5%, mientras que en ambientes de flujo alto, la eficiencia de entierro es de un 30% (DE MASTER, 2003).

Los principales factores que estarían regulando la disolución y la posterior preservación de la sílica biogénica en los sedimentos serían principalmente la tasa y el flujo de sedimentación, es decir a un mayor flujo existe una mayor probabilidad de que la sílica biogénica se pueda preservar en el sedimento. Así mismo, la concentración de sílica biogénica en agua intersticial, ya que a un mayor grado de insaturación mayor disolución, otro factor importante es la absorción de ciertos minerales como el aluminio a la capa superficial externa de las partículas de sílice que le confieren cierta resistencia a la degradación y la disolución, dicho comportamiento puede estarse generando desde la columna de agua hasta los sedimentos. En tanto un valor de pH alcalino podría favorecer al aumento de la solubilidad en un rango aproximado de 20% (DE MASTER, 2003).

#### ***2.2.4 Preservación de la señal silíceas y distribución en los sedimentos***

ROMERO Y HEBBELN (2003) reportaron la distribución espacial de las señales silíceas y la composición cualitativa y cuantitativa de las comunidades de diatomeas y la Tafoecosis (referida al conjunto de restos de organismos que fueron enterrados juntos e incorporados a los sedimentos marinos, preservadas en el sedimento superficial de las costas de Chile en el sureste del Pacífico (22°S - 44°S). Ellos encontraron diferencias latitudinales en estas señales, que reflejan la influencia de mecanismos en la producción de las aguas superficiales referidas a las aguas de afloramiento del norte y centro de Chile (38°S).

RYVES *et al.* (2003) compararon trampas de sedimento con el sedimento superficial y estudiaron cómo influyen los procesos de diagénesis en la comunidades silíceas en su

preservación en el sedimento, asimismo elaboraron índices de disolución de diatomeas en sedimentos del Lago Baikal en Rusia.

LOPES *et al.* (2006) compararon la distribución espacial de las diatomeas, en los sedimentos superficiales del Pacífico noreste con las condiciones de la columna de agua, como un paso para calibrar las relaciones entre la flora preservada en los sedimentos y las condiciones ambientales de la columna de agua. LOPES *et al.* (2006) determinaron que conjuntos de especies de diatomeas son definidos por el modo de análisis de factor Q encontrándose que estos factores están significativamente relacionados con la productividad primaria, la temperatura, la concentración de nutrientes y la salinidad.

Sin embargo, las diatomeas que se conservan en el registro geológico pueden reflejar no sólo la producción de organismos vivos cerca de la superficie del mar, sino también las condiciones físicas y químicas en la columna de agua y en los sedimentos. Estas condiciones pueden producir la disolución o puede transportar las diatomeas a zonas alejadas de aquellas en las que vivían (LOPES *et al.* 2006).

BARRON *et al.* (2008) estudiaron las diatomeas y silicoflagelados en los sedimentos de la cuenca de Santa Bárbara y su respuesta al cambio climático mundial y las anomalías relacionadas a la variación de la temperatura superficial del mar durante los últimos 2200 años. Estos resultados indican un amplio intervalo de temperaturas frías de la superficie entre los años 800 A.C y 1350, que corresponde a la Anomalía Cálida de la Edad Media y posteriormente un período de temperaturas más cálidas durante el siglo 20.

En el Perú se han desarrollado estudios referidos a sedimentos marinos dentro del margen continental para diversas zonas. Los primeros estudios de diatomeas (ZHUZE,

1972; SCHUETTE Y SCHRADER, 1979) y de escamas de peces (DE VRIES, 1979) en los sedimentos marinos superficiales peruanos mostraron la diversidad y abundancia de valvas de diatomeas y escamas de peces que reflejan la distribución moderna de la biocenosis en las aguas superficiales.

DE VRIES Y SCHRADER (1981) analizando registros de diatomeas en sedimentos, reportaron la variación del afloramiento y las condiciones oceánicas durante el Pleistoceno en la costa central del Perú en predominado así una mezcla de especies tropicales y subtropicales. Así mismo reportaron la bioestratigrafía de los depósitos cuaternarios de la cuenca Pisco, encontrando también que la distribución de las diatomeas en los sedimentos de áreas de surgencia es reflejo de una alta productividad en forma que varían de situación e intensidad a nivel histórico.

GUTIÉRREZ *et al.* (2006) estudiaron sedimentos marinos del margen continental de Pisco dentro de la Zona Mínima de Oxígeno para la reconstrucción ambiental y variabilidad ecosistémica durante los últimos 200 años evaluando la estructura de los sedimentos así como las composiciones orgánicas y minerales presentes, encontrándose altas concentraciones de sílica amorfa correspondiente a fragmentos de diatomeas.

GUTIÉRREZ *et al.* (2009) estudiaron una serie temporal de múltiples proxies en los sedimentos laminados del margen superior del Perú, como la paleoproductividad para reconstruir las condiciones paleoecológicas, encontrando una rápida reorganización en el clima tropical del Pacífico con efectos inmediatos en el ciclo biogeoquímico del océano y la estructura de los ecosistemas hacia el final de la Pequeña Edad de Hielo durante el holoceno.

### **3. HIPÓTESIS**

#### **3.1. Distribución de las especies fitoplanctónicas silíceas según las masas de agua**

Las especies fitoplanctónicas silíceas muestran una distribución típica propia de las masas de agua que participan dentro del área de estudio.

#### **3.2. Restos silíceos biogénicos en sedimentos superficiales**

La composición de los restos silíceos biogénicos en los sedimentos superficiales varían de acuerdo a la latitud, profundidad y al tipo de sedimento.

#### **3.3. Diversidad y abundancia relativa del fitoplancton y tafocenosis silícea**

La disolución de las valvas de diatomeas es determinada por la temperatura de la capa eufótica, la profundidad de la columna de agua y el tipo de sedimento superficial.

#### **3.4. Disolución relativa de las valvas de fitoplancton silíceo**

Existen diferencias en la disolución relativa de las valvas de especies frágiles y las valvas de especies robustas del fitoplancton silíceo.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinar la preservación de la diversidad y distribución del fitoplancton silíceo en los sedimentos superficiales del margen continental frente al Perú y Ecuador.

### **4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Caracterizar la estructura comunitaria y distribución del fitoplancton silíceo en relación a las masas de agua frente a la costa peruana, durante la primavera de 2008.
- ✓ Caracterizar la diversidad y distribución espacial de los restos biogénicos silíceos en sedimentos superficiales del margen continental frente al Perú y Ecuador.
- ✓ Comparar la diversidad y abundancia relativa de especies del fitoplancton con la tafocenosis silícea en los sedimentos superficiales del margen continental frente al Perú y Ecuador.
- ✓ Estimar y comparar la disolución relativa de las valvas de diatomeas mediante observaciones del grado de preservación de los frústulos en los sedimentos superficiales.

## **5. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.1 Área de estudio**

La expedición oceanográfica METEOR 77 se llevó a cabo sobre el Pacífico Tropical Sudeste, desde fines de octubre de 2008 hasta mediados de febrero de 2009 a bordo del buque de investigación alemán R.V METEOR.

La fase 2 (M77-2) de dicha expedición enmarcada en esta investigación, realizó un programa de trabajo sobre la columna de agua y sedimentos que estuvo orientado al paleoclima. Se realizó entre Callao (Perú) y Guayaquil (Ecuador) entre los días 24 de noviembre y 21 de diciembre de 2008.

Las estaciones de muestreo se distribuyeron latitudinalmente desde la línea ecuatorial (Ecuador) a 00°05.44'N hasta Punta San Fernando, Ica (Perú) a 15°04.75'S y fuera de las 13 millas náuticas de la línea base de la costa, sobre la plataforma continental y el talud superior - medio (figura 5).

Las muestras de agua, de sedimentos, e información atmosférica, oceanográfica y batimétrica fueron recolectadas a lo largo de la ruta de la expedición. El Sistema de información geográfica (SIG) que se utilizó fue el de coordenadas latitud/longitud WGS84 para la ubicación de los puntos de muestreo.

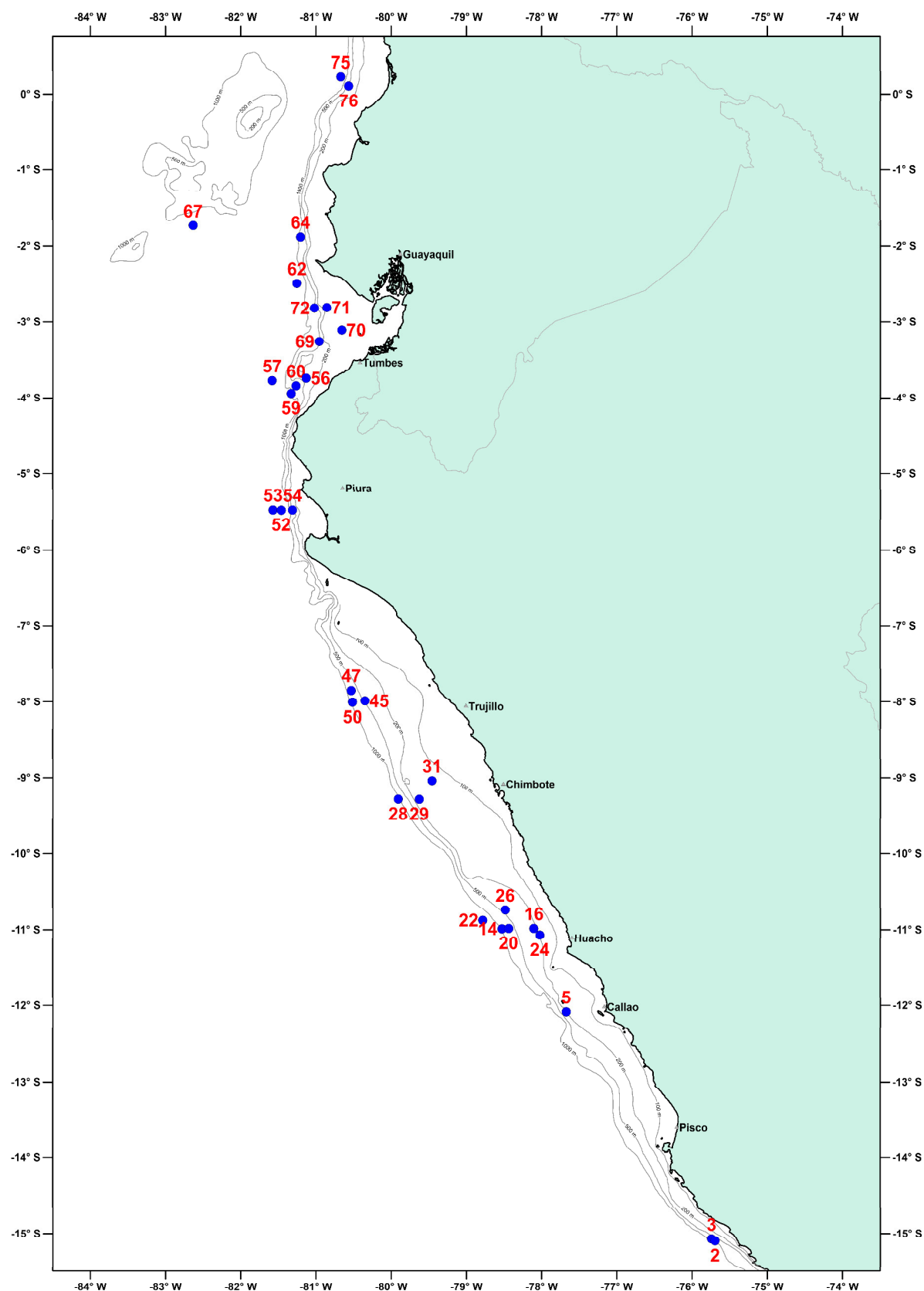


Figura 5. Distribución de las estaciones de muestreo durante el crucero METEOR 77-2 comprendidas desde la línea ecuatorial (Ecuador ~0°) hasta Punta San Fernando, Ica (Perú ~15°S) durante la primavera 2008.



## **5.2. Colección de muestras**

La distancia a costa en millas náutica de cada estación de muestreo se presenta en la tabla 2.

### **5.2.1. Muestra de columna de agua**

Se realizaron 27 arrastres verticales con una red estándar de fitoplancton de 10 micrones de apertura de malla y 13.5 cm de diámetro (lámina 1), cubriendo los 30 metros debajo de la superficie es decir la mayor parte o totalidad de la capa eufótica. Las muestras fueron preservadas y almacenadas en solución de formaldehído al 20% en frascos de plástico de boca ancha de 30mL de capacidad (tabla 3).

Asimismo se realizó un total de 59 lances de sensores CTD (*Conductivity, Temperature, and Depth*) en roseta oceanográfica (lámina 1) a diferentes profundidades: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40 y 50 m para caracterizar las condiciones hidrofísicas, oxígeno disuelto y fitoplancton, en total se obtuvieron 59 muestras en columna de agua almacenados en frascos color ámbar de 100mL de capacidad con solución de formaldehído al 0.4% (tabla 4).

### **5.2.2. Muestras en sedimento superficial**

Se realizó de dos a tres lances de multisacatestigos *Multicore* (MUC) (lámina 1) en cada una de las estaciones geológicas. Las profundidades de lances variaron desde los 59m hasta los 2607m, un solo testigo de sedimento fue muestreado y seccionado en su capa superficial obteniéndose un corte transversal de grosor de 2 cm. Posteriormente este corte fue submuestreado a una resolución de 0,5 cm (Es decir de

0 - 0.5 cm, 0.5 - 1cm, 1 - 1.5 cm y 1.5 - 2 cm). El submuestreo de los testigos fue realizado a bordo durante el crucero.

Para esta investigación se empleó solo la sección de sedimento de 0 - 0,5 cm. de cada testigo submuestreado, asumiéndose que esta sección representa las condiciones más modernas, en total se obtuvieron 24 muestras de sedimento superficial (tabla 5).

*Tabla 2. Distancia a costa de las estaciones de muestreo comprendidas desde la línea ecuatorial (Ecuador ~0°) hasta Punta San Fernando, Ica (Perú ~15°S). durante el crucero METEOR 77-2 en millas náuticas (mn).*

Estaciones	Latitud	Longitud	Distancia (mn)	Estaciones	Latitud	Longitud	Distancia (mn)
M772-002	15°04.75'S	75°44.00'W	14,4	M772-053	05°28.94'S	81°34.03'W	27
M772-003	15°06.21'S	75°41.28'W	13	M772-054	05°29.61'S	81°18.41'W	15
M772-005	12°05.66'S	77°40.07'W	30	M772-056	03°44.99'S	81°07.47'W	15,8
M772-014	11°00.02'S	78°31.16'W	43	M772-057	03°47.01'S	81°34.37'W	34
M772-016	10°59.80'S	78°05.21'W	22	M772-059	03°56.48'S	81°18.83'W	17
M772-020	10°59.76'S	78°25.92'W	38	M772-060	03°51.09'S	81°15.49'W	18
M772-022	10°53.65'S	78°46.33'W	53	M772-062	02°30.01'S	81°14.71'W	23
M772-024	11°05.01'S	78°00.91'W	20	M772-064	01°52.93'S	81°11.70'W	21
M772-026	10°45.13'S	78°28.43'W	33	M772-067	01°45.14'S	82°37.47'W	100
M772-028	09°18.11'S	79°53.97'W	73	M772-069	03°15.82'S	80°57.29'W	29
M772-029	09°17.70'S	79°37.11'W	59	M772-070	03°07.16'S	80°39.13'W	24
M772-031	09°02.97'S	79°26.88'W	43	M772-071	02°49.01'S	80°50.73'W	25
M772-045	08°00.34'S	80°20.85'W	55	M772-072	02°49.37'S	81°00.75'W	29
M772-047	07°52.01'S	80°31.36'W	64	M772-075	00°12.70'N	80°39.77'W	30
M772-050	08°01.04'S	80°30.13'W	62	M772-076	00°05.44'N	80°33.40'W	20
M772-052	05°29.01'S	81°27.01'W	27				

*Tabla 3. Estaciones de muestreo de fitoplancton obtenido con la red de arrastre vertical durante el crucero METEOR 77-2, desde la línea ecuatorial (Ecuador ~0°) hasta Punta San Fernando, Ica (Perú ~15°S) durante la primavera del 2008.*

<b>estación</b>	<b>fecha</b>	<b>hora (UTC)</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
M772-003-1	26/11/2008	17:00	15°06.21'S	75°41.28'W
M772-005-	27/11/2008	23:45	12°05.66'S	77°40.07'W
M772-014-	29/11/2008	13:45	11°00.02'S	78°31.16'W
M772-016-	29/11/2008	21:35	10°59.80'S	78°05.91'W
M772-020-	30/11/2008	15:30	10°59.76'S	78°25.92'W
M772-024-	01/12/2008	14:20	11°05.01'S	78°00.91'W
M772-026-	01/12/2008	02:30	10°45.13'S	78°28.43'W
M772-028-	03/12/2008	19:40	09°18.11'S	79°53.97'W
M772-029-	03/12/2008	23:35	09°17.70'S	79°37.11'W
M772-031-	04/12/2008	16:20	09°02.97'S	79°26.88'W
M772-045-	07/12/2008	01:45	08°00.34'S	80°20.85'W
M772-047-	07/12/2008	15:30	07°52.01'S	80°31.36'W
M772-050-	08/12/2008	01:00	08°01.55'S	80°30.19'W
M772-052-	09/12/2008	12:00	05°29.00'S	81°27.00'W
M772-053-	09/12/2008	23:30	05°29.02'S	81°43.00'W
M772-054-	10/12/2008	04:45	05°29.61'S	81°18.41'W
M772-056-	11/12/2008	20:30	03°44.99'S	81°07.47'W
M772-059-	12/12/2008	18:00	03°56.48'S	81°18.83'W
M772-060-	12/12/2008	23:15	03°50.51'S	81°15.50'W
M772-062-	14/12/2008	01:45	02°30.50'S	81°14.97'W
M772-064-	14/12/2008	18:00	01°52.93'S	81°11.70'W
M772-067-	16/12/2008	14:20	01°45.65'S	82°37.43'W
M772-069-	17/12/2008	20:30	03°15.82'S	80°57.29'W
M772-070-	17/12/2008	23:30	03°07.16'S	80°39.13'W
M772-072-	18/12/2008	06:32	02°49.37'S	81°00.75'W
M772-075-	19/12/2008	18:20	00°12.70'N	80°39.77'W
M772-076-	19/12/2008	22:15	00°05.44'N	80°33.40'W

*Tabla 4. Estaciones de muestreo de fitoplancton obtenido con roseta oceanográfica a diferentes profundidades en la columna de agua durante el crucero METEOR 77-2, desde la línea ecuatorial (Ecuador ~0°) hasta Punta San Fernando, Ica (Perú ~15°S) durante la primavera del 2008.*

Estaciones	Fecha	Hora (UTC)	Latitud	Longitud	Profundidad agua (m)	Muestras (Profundidad m.)
M772-005	27/11/2008	18:30	12°05.66'S	77°40.07'W	211	50 40, 30, 25, 20, 15, 10, 5m
M772-022	01/12/2008	04:05	10°53.65'S	78°46.33'W	1972	20, 10m
M772-028	03/12/2008	18:44	09°18.11'S	79°53.97'W	1141	50 40, 30, 25, 20, 15, 10, 5m
M772-045	07/12/2008	00:45	08°00.34'S	80°20.85'W	365	50 40, 30, 25, 20, 15, 10, 5m
M772-054	10/12/2008	03:58	05°29.61'S	81°18.41'W	329	40, 30, 20, 15, 10, 5m
M772-056	11/12/2008	19:48	03°44.99'S	81°07.47'W	355	40, 30, 20, 15, 10, 5m
M772-057	12/12/2008	02:00	03°47.01'S	81°34.37'W	2625	40, 30, 20, 15, 10, 5m
M772-059	12/12/2008	17:10	03°56.48'S	81°18.83'W	973	40, 30, 20, 15, 10, 5m
M772-062	13/12/2008	20:48	02°30.01'S	81°14.71'W	1678	25, 15, 5m
M772-064	14/12/2008	17:04	01°52.93'S	81°11.70'W	524	5m
M772-069	17/12/2008	19:32	03°15.82'S	80°57.29'W	372	5m
M772-070	17/12/2008	23:16	03°07.16'S	80°39.13'W	60	5m
M772-072	18/12/2008	06:50	02°49.37'S	81°00.75'W	437	5m
M772-075	19/12/2008	16:32	00°12.70'N	80°39.77'W	1381	5m
M772-076	19/12/2008	21:48	00°05.44'N	80°33.40'W	288	5m

*Tabla 5 Estaciones de muestreo de sedimentos superficiales obtenidos con MUC (multisacatestigos multicore) a diferentes profundidades durante el cruceo METEOR 77-2, desde la línea ecuatorial (Ecuador ~0°) hasta Punta San Fernando, Ica (Perú ~15°S) durante la primavera del 2008.*

Estaciones	Latitud	Longitud	Fecha	Profundidad (m.)
M772 - 002	15°04.75`S	75°44.00`W	26/11/2008	290
M772 - 005	12°05.66'S	77°40.07`W	27/11/2008	213
M772 - 022	10°53.22'S	78°46.38'W	01/12/2008	1933
M772 - 024	11°05.01'S	78°00.91'W	01/12/2008	210
M772 - 026	10°45.13'S	78°28.43'W	02/12/2008	424
M772 - 028	09°17.69'S	79°53.86'W	03/12/2008	1107
M772 - 029	09°17.70'S	79°37.11'W	03/12/2008	437
M772 - 031	09°02.97'S	79°26.88'W	04/12/2008	114
M772 - 045	08°00.00'S	80°20.40'W	07/12/2008	359
M772 - 047	07°52.01'S	80°31.36'W	07/12/2008	626
M772 - 050	08°01.04'S	80°30.13'W	08/12/2008	1012
M772 - 052	05°29.01'S	81°27.01'W	09/12/2008	297
M772 - 053	05°28.94'S	81°34.03'W	09/12/2008	2607
M772 - 054	05°29.01'S	81°18.35'W	10/12/2008	307
M772 - 056	03°45.01'S	81°07.29'W	11/12/2008	350
M772 - 059	03°56.95'S	81°19.16'W	12/12/2008	995
M772 - 060	03°51.09'S	81°15.49'W	12/12/2008	701
M772 - 064	01°53.49'S	81°11.75'W	14/12/2008	525
M772 - 067	01°45.14'S	82°37.47'W	16/12/2008	2075
M772 - 069	03°16.02'S	80°56.86'W	17/12/2008	339
M772 - 070	03°07.01'S	80°38.79'W	17/12/2008	59
M772 - 071	02°49.01'S	80°50.73'W	18/12/2008	101
M772 - 075	00°12.70'N	80°39.77'W	19/12/2008	427
M772 - 076	00°05.45'N	80°33.40'W	19/12/2008	1314

### 5.2.3. Parámetros fisicoquímicos

Se tomaron datos oceanográficos mediante un CTD equipado con sensores de conductividad, temperatura, profundidad y oxígeno, para la obtención de datos

fisicoquímicos en superficie (tabla 6), así mismo se obtuvieron perfiles verticales en la columna de agua frente a Perú y Ecuador en todas las estaciones de muestreo y a diferentes profundidades (tabla 7).

*Tabla 6. Parámetros fisicoquímicos (temperatura, salinidad y oxígeno) en las estaciones de muestreo a nivel superficial obtenidos con sensores CTD durante el crucero METEOR 77-2, primavera 2008.*

Estaciones	Área	Long	Lat	Temperatura (°C)	Salinidad (ups)	Oxígeno (ml/L)
M772-003	San Juan	15°06.21'S	75°41.28'W	15,85	34,907	3,625
M772-005	Callao	12°05.66'S	77°40.07'W	15,80	34,892	1,296
M772-014	Callao	11°00.02'S	78°31.16'W	15,87	34,932	3,325
M772-016	Callao	10°59.80'S	78°05.21'W	16,34	34,965	3,213
M772-020	Callao	10°59.76'S	78°25.92'W	17,63	34,999	3,226
M772-024	Huacho	11°05.01'S	78°00.91'W	15,98	34,996	2,217
M772-026	Huacho	10°45.13'S	78°28.43'W	18,37	34,507	0,946
M772-028	Chimbote	09°18.11'S	79°53.97'W	20,34	35,092	4,178
M772-029	Chimbote	09°17.70'S	79°37.11'W	19,21	35,035	4,642
M772-031	Chimbote	09°02.97'S	79°26.88'W	16,48	35,039	1,934
M772-045	Trujillo	08°00.34'S	80°20.85'W	19,27	35,021	3,812
M772-047	Trujillo	07°52.01'S	80°31.36'W	19,00	35,046	3,954
M772-050	Trujillo	08°01.04'S	80°30.13'W	19,21	35,017	3,844
M772-052	Piura	05°29.01'S	81°27.01'W	17,23	34,984	4,712
M772-053	Piura	05°28.94'S	81°34.03'W	17,08	35,022	3,615
M772-054	Piura	05°29.61'S	81°18.41'W	16,81	35,121	3,801
M772-056	Tumbes	03°44.99'S	81°07.47'W	18,92	34,873	3,621
M772-059	Tumbes	03°56.48'S	81°18.83'W	20,18	34,214	4,124
M772-060	Tumbes	03°51.09'S	81°15.49'W	18,20	34,810	4,069
M772-062	Ecuador	02°30.01'S	81°14.71'W	20,82	33,754	2,402
M772-064	Ecuador	01°52.93'S	81°11.70'W	24,37	32,045	3,781
M772-067	Ecuador	01°45.14'S	82°37.47'W	21,97	33,253	3,638
M772-069	Ecuador	03°15.82'S	80°57.29'W	23,24	33,060	4,213
M772-070	Ecuador	03°07.16'S	80°39.13'W	23,83	33,043	3,567
M772-072	Ecuador	02°49.37'S	81°00.75'W	24,37	32,084	2,543
M772-075	Ecuador	00°12.70'N	80°39.77'W	25,54	32,223	3,382
M772-076	Ecuador	00°05.44'N	80°33.40'W	25,53	32,112	4,463

*Tabla 7 Parámetros físicoquímicos (temperatura, salinidad y oxígeno) en las estaciones de muestreo en columna de agua a diferentes profundidades durante el crucero METEOR 77-2, primavera 2008*

Estaciones	Área	Long	Lat	Profundidad(m)	Temperatura (°C)	Salinidad (ups)	Oxígeno (ml/L)
M772-005	Callao	12°05.66'S	77°40.07'W	5	15,801	34,892	1,296
				10	15,788	34,989	1,293
				15	15,738	34,971	1,290
				20	15,623	34,976	1,104
				25	15,349	34,984	0,559
				30	14,995	34,992	0,294
				40	14,161	34,997	0,034
				50	13,864	34,988	0,031
M772-022	Huacho	10°53.65'S	78°46.33'W	5	19,892	34,873	5,478
				10	19,629	34,973	5,344
				20	19,236	35,174	4,539
M772-028	Chimbote	09°18.11'S	79°53.97'W	5	20,342	35,092	4,178
				10	20,127	35,059	4,146
				15	19,046	35,056	4,730
				20	18,777	35,085	4,430
				25	18,483	35,234	4,181
				30	18,098	35,205	3,476
				40	16,459	35,093	1,595
				50	15,708	35,057	0,647
M772-045	Trujillo	08°00.34'S	80°20.85'W	5	19,267	35,021	3,812
				10	19,096	35,010	3,779
				15	18,891	35,039	3,850
				20	17,659	35,054	2,499
				25	17,246	35,080	1,794
				30	17,003	35,094	1,338
				40	16,208	35,092	0,268
				50	15,719	35,064	0,163
M772-054	Piura	05°29.61'S	81°18.41'W	5	16,812	35,121	3,801
				10	16,731	35,012	3,790
				15	16,535	35,013	3,593
				20	15,736	35,024	2,313
				30	15,368	35,025	1,625
				40	15,123	35,029	1,252
M772-056	Tumbes	03°44.99'S	81°07.47'W	5	18,921	34,873	3,621
				10	18,834	34,755	3,563
				15	18,728	34,654	3,498
				20	17,855	34,845	3,681
				30	15,740	35,034	1,840
				40	15,393	35,040	1,632
M772-057	Tumbes	03°47.01'S	81°34.37'W	5	17,923	34,743	2,132
				10	17,789	34,704	2,062
				15	16,140	35,040	2,141
				20	15,737	35,031	2,077
				30	15,737	35,031	2,077
				40	14,808	35,028	0,832
M772-059	Tumbes	03°56.48'S	81°18.83'W	5	20,180	34,214	4,124
				10	20,177	34,205	4,111
				15	16,783	34,985	3,703
				20	15,675	35,020	2,460
				30	14,906	35,040	1,312
				40	14,595	35,039	0,917
M772-062	Ecuador	02°30.01'S	81°14.71'W	5	20,819	33,754	2,402
				15	20,257	34,032	4,216
				25	17,455	34,730	3,006
M772-064	Ecuador	01°52.93'S	81°11.70'W	5	24,367	32,045	3,781
M772-069	Ecuador	03°15.82'S	80°57.29'W	5	23,237	33,060	4,213
M772-070	Ecuador	03°07.16'S	80°39.13'W	5	23,828	33,043	3,567
M772-072	Ecuador	02°49.37'S	81°00.75'W	5	24,367	32,084	2,543
M772-075	Ecuador	00°12.70'N	80°39.77'W	5	25,544	32,223	3,382
M772-076	Ecuador	00°05.44'N	80°33.40'W	5	25,528	32,112	4,463

### **5.3. Técnicas de análisis**

#### **5.3.1. Destrucción de Materia Orgánica por el Método de oxidación con ácidos**

Las muestras de sedimento seco (aproximadamente 0.1 gramo) fueron tratadas con ácido clorhídrico (HCl) al 10% y Peroxido de hidrogeno ( $H_2O_2$ ) al 30% en proporción de 1:1:3 respectivamente (SCHRADER & GERSONDE, 1978).

Este ataque facilitó la disolución del carbonato de calcio y la disolución de la materia orgánica que se encuentra presente en la muestra. Se llevaron las muestras a calentar en baño maría en una plancha térmica o *Hot plate* hasta que las muestras estuvieran limpias. Todo este procedimiento fue realizado bajo una campana extractora de gases, por ser estos compuestos tóxicos (MACKAY *et al*, 1998; RYVES *et al*, 2001)

Una vez que la reacción fue terminada y la muestra limpia (color blanco lechoso) se procedió a enjuagar la muestra por decantación con agua destilada, se dejó reposar 12 horas aproximadamente, para luego decantar el sobrenadante, repitiendo este procedimiento 8 veces.

Se guardó la muestra correctamente rotulada en un vial de vidrio de 20 mL para luego realizar el montaje de la misma (lámina 4).



### 5.3.2 Montaje en láminas de muestra de sedimentos tratadas

Sobre una lámina cubreobjeto de 22x22mm se colocó entre 100  $\mu$ L a 200 $\mu$ L de muestra (dependiendo de la densidad de esta) y se le adicionó 1 gota de agua destilada y 1 gota de alcohol al 50%.

La lámina con la muestra se secó a 70°C en un *Hot Plate*. Se colocó en la lámina portaobjetos 1 a 2 gotas del medio de montaje Z-RAX (R.I=1.7+), se invirtió el cubreobjeto sobre el portaobjetos, dejándose calentar hasta eliminar el tolueno componente del medio de montaje y hasta que la lámina quede bien sellada. Se eliminaron las burbujas de aire con ligeras presiones.

Las láminas fueron observadas al microscopio petrográfico de luz transmitida a una magnificación total de 1000x. La abundancia absoluta de diatomeas se expresó en valvas por gramo de sedimento seco (valvas.g<sup>-1</sup>) Se contaron un aproximado de 300 valvas distintas (ABRANTES *et al.*, 2004)

Las diatomeas centrales se contaron como ejemplares enteros si más de la mitad de una valva está presente (incluida la zona central) y las diatomeas pennadas fueron contadas en caso presenten una valva completa o la parte central con el nódulo (SCHRADER Y GERSONDE, 1978).

### 5.3.3. Montaje de láminas de frotis de sedimento (*Smear slides*).

Aproximadamente 1 gramo de sedimento húmedo fue pesado y colocado en bolsas ziploc pequeñas y secados durante 4 días aproximadamente en la estufa. Para este

procedimiento deben encontrarse limpias las láminas y lamillas. Las laminillas cubreobjeto deben pesarse previamente y anotar el peso.

Para la elaboración de frotis de sedimento o *Smear slides* se siguió la metodología de ARMSTRONG Y BRASIER (2005). En una laminilla cubreobjetos de 22x 40mm se colocó una cantidad de muestra suficiente para que sea expandida por toda la laminilla con ayuda de un mondadientes y una gota de agua destilada para que se distribuya y homogenice, se puso la laminilla sobre el *Hot Plate* hasta que la muestra este seca.

Una vez seca la muestra, debe volverse a pesar y anotar el peso para realizar los cálculos del peso de la muestra.

La lámina portaobjetos fue rotulada y se le adicionó en la parte central 1 o 2 gotas de la resina de montaje *Norland Optical Adhesive 61* (I.R.  $\approx 1.51$ ). Se invirtió esta lámina sobre el cubreobjetos conteniendo la muestra con la resina en el *Hot Plate* a 120 °C para favorecer el corrido de la resina hasta cubrir todos los bordes de la laminilla.

Se eliminó las burbujas de aire con ligeras presiones y se dejó endurecer la lámina montada a luz UV. Los restos de resina que puedan haberse desbordado en la lámina fueron eliminados con una navajilla (lámina 5).

## **5.4 Análisis de Muestras**

### **5.4.1 Análisis de Muestras de red**

El análisis cuantitativo de red fue realizado con una cámara de conteo tipo *Sedgewick-Rafter* de 1mL de capacidad y en base cuadrículada de 1000 campos. Los resultados fueron expresados en N° de células por m<sup>3</sup> de agua filtrada por la red (lámina 2).

Para la identificación de las especies del fitoplancton se ha seguido las descripciones de CUPP (1943), HASLE & SIVERTSEN (1996), HENDEY (1964) y HUSTED (1930) para las Diatomeas.

SCHILER (1933 y 1937), SOURNIA (1967), BALECH (1988), OCHOA Y GÓMEZ (1997) para los Dinoflagelados; CARMELO (1997) para los Cocolitofóridos y THRONSEN AND HEIMDAL (1993) para el grupo de los Microflagelados.

#### **5.4.2. Análisis de muestras de agua**

El análisis cuantitativo de fitoplancton se realizó siguiendo el método de sedimentación de UTERMÖHL (1958) y las recomendaciones de UNESCO (1978), utilizando un microscopio invertido y cilindros de sedimentación de 50 ml de capacidad (lámina 3). Las muestras de agua fueron sedimentadas 24 horas aproximadamente. Se realizaron los recuentos siguiendo las siguientes especificaciones:

- Los organismos menores de 40 micras se contaron en un área que corresponde a 2 ml con objetivo de 40x.
- Los organismos mayores de 40 micras se contaron en toda la base con objetivos de 10x o 20x.
- Los resultados se expresaron en cel.L<sup>-1</sup>

Los organismos, en lo posible, fueron identificados hasta el nivel de especie; en el

caso de los microflagelados que no fueron identificables debido a su pequeño tamaño, fueron reunidos en el grupo de "fitoflagelados".

El esquema resumen para el análisis de muestras de agua se muestra en la figura 7.

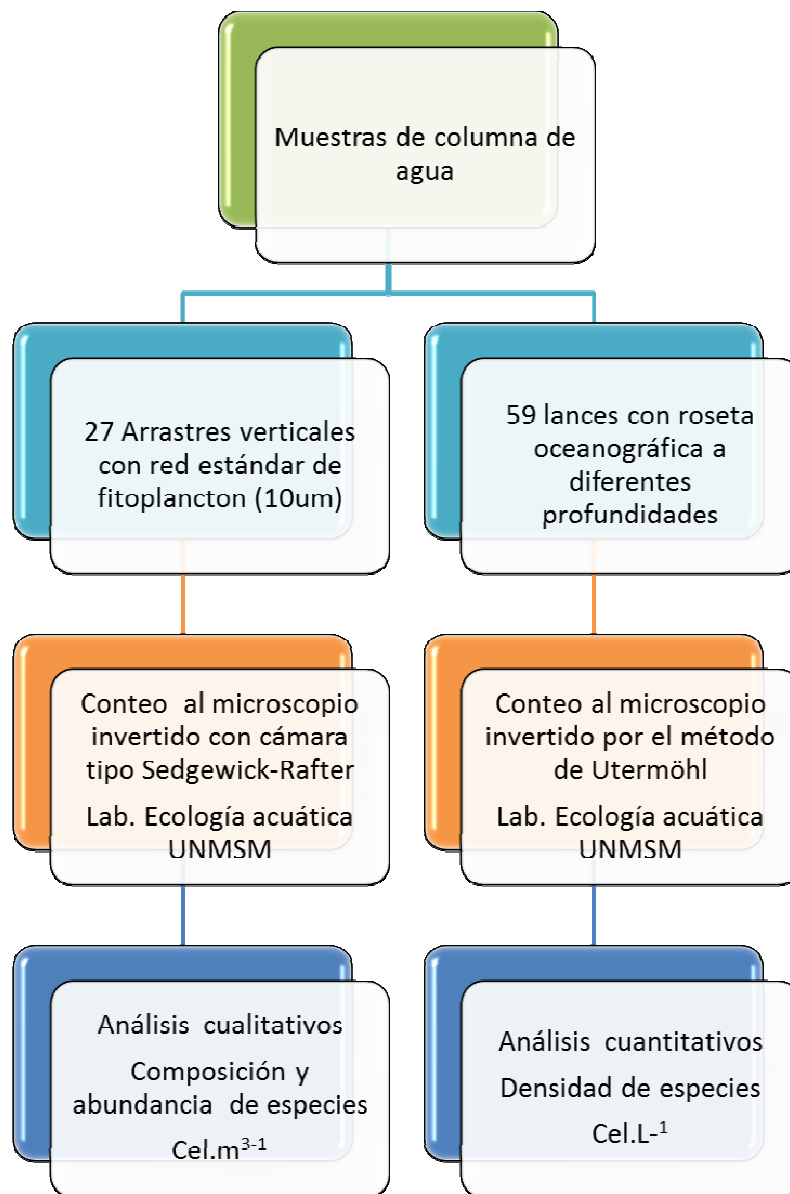
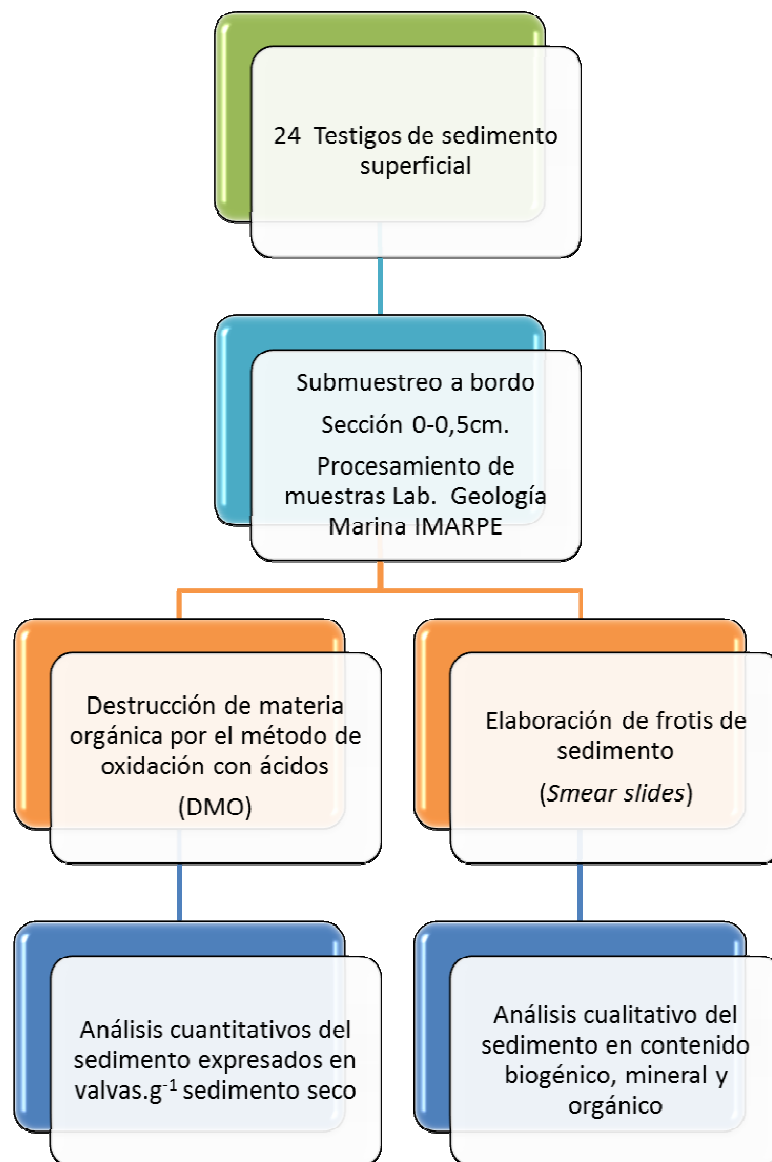


Figura 6. Esquema resumen de la metodología empleada para análisis en columna de agua



*Figura 7. Esquema resumen de la metodología empleada para análisis en sedimento superficial*

#### **5.4.3 Análisis de sedimento**

Las láminas fueron observadas al Microscopio Petrográfico de luz transmitida a una magnificación total de 1000x.

Según el método propuesto por VILLAFANE & REID (1995) para los análisis cuantitativos, se realizaron conteos de valvas en las láminas por medio de transectas para determinar la abundancia de especies y concentración de valvas en sedimento seco expresadas en valvas.g<sup>-1</sup> de sedimento. Se tomaron fotografías capturadas con una cámara microscópica digital *infinite capture* para el reconocimiento de algunas especies.

El esquema resumen para el análisis de muestras de sedimento superficial se muestra en la figura 6.

## **5.5. Formulación y Cálculos aplicados a los datos obtenidos**

### **5.5.1. Calculo de Concentración Celular**

#### **5.5.1.1. Red de fitoplancton**

Los resultados obtenidos de los volúmenes finales de plancton son expresados en cel.m<sup>3-1</sup>.

Se halla el volumen de agua filtrada por la red de fitoplancton utilizando la fórmula del volumen del cilindro:

$$K = \pi r^2 h$$

**Donde:**

K = Constante que nos indica el volumen de agua filtrada por la red en m<sup>3</sup>.

r = Radio de la boca de la red estándar en metros

h = Distancia recorrida por la red en metros

Para el cálculo de h, se asume que es de 30m considerando el arrastre vertical

Si el diámetro de la boca de la red estándar es 13.5cm.

Entonces en radio de la boca de la red estándar = 6.75 cm. = 0.0675m.

- Aplicando la fórmula del cilindro:

$$K = \pi r^2 h$$

$$K = \pi (0.0675\text{m})^2 (30\text{m})$$

$$K = 0.429 \text{ m}^3 \text{ de agua filtrada por la red}$$

El número de células se expresa dividiéndose el número total de células encontradas en la muestra por el volumen de agua filtrado por la red.

#### **5.5.1.2. Sedimento Superficial**

Los resultados están expresados como las concentraciones de valvas por gramo de sedimento seco de diatomeas.

$$CD = ((NV \times (AL \times AT)) \times (Vi \times Vm)) / PMS$$

**Donde:**

CD = Concentración de diatomeas

NV = Número de valvas contadas a lo largo del área de la transecta (AT) en mm<sup>2</sup> tomando en cuenta el área de la laminilla (AL).

Vm = Subvolumen del volumen inicial (Vi) usado en la muestra

PMS = peso seco de la muestra en gramos.

El número absoluto de diatomeas fue expresado en unidades de 10<sup>6</sup> valvas por gramo de sedimento seco. Los conteos hechos en las réplicas indican un error estimado sobre la abundancia absoluta  $\leq 10\%$ . (VILLAFANE & REID, 1995)

### **5.5.2. Disolución y preservación relativa**

Los frústulos de diatomeas fueron agrupados en diferentes clases según CASSIS *et al.* (2002).

A = Resistente (si los frústulos se encuentran intactos)

B = Parcialmente Resistentes (si los frústulos de diatomeas se encuentran parcialmente intactos)

C = Fácil disolución (la mayoría de los frústulos no se pueden identificar).

El grado de preservación del fitoplancton silicio fue definido tomando en cuenta los siguientes parámetros:

G = bueno (la mayoría de los especímenes muestran sus características taxonómicas),

M = moderado (la mayoría de los especímenes son reconocibles)



B = malo (la mayoría de los especímenes no se encuentren completos para su identificación)

VB = muy malo (solo algunos especímenes son reconocibles).

### 5.5.3. Abundancia Relativa

La abundancia relativa de cada taxón de diatomeas se representó según lo establecido por *CASSIS et al.* (2002), de acuerdo a la siguiente nomenclatura: Ausente, Raro, Escaso, Abundante, Muy abundante y Floración, para observar la diferencia en las dos comunidades. Los conteos cualitativos se expresarán también en porcentaje de la comunidad silíceo.

Se estimó la abundancia relativa de las diferentes especies obteniendo la siguiente clasificación:

- 0 = Ausente, no se detecta la presencia de la especie.
- 1 = Raro, se encuentra un ejemplar o cadena
- 2 = Escaso, menos de 10 ejemplares.
- 3 = Abundante, entre 11 y 50 ejemplares.
- 4 = Muy abundante, entre 51 y 80 ejemplares.
- 5 = Floración, superior a 80, presentándose la especie en forma masiva.

En la representación de la estimación de abundancia relativa de especies en *smear slides* se utilizó la siguiente clasificación:

- A = abundante (1-5 especímenes por campo de visión)
- C = común (1 espécimen por 2- 10 campos de visión)
- F = frecuente (1 espécimen por 11-30 campos de visión)

- R = raro (1 espécimen por 31-100 campos de visión)

#### **5.5.4. Calculo de la Frecuencia Relativa**

Este cálculo determinó las veces con que se presenta un taxón *i* durante los muestreos realizados durante el tiempo de evaluación.

Se calculó los rangos de frecuencia, según el número de especies y porcentaje de frecuencia para cada una de las estaciones. Y se determinó por:

$$\% Fr = Si / N \times 100$$

Dónde:

Si= Número de muestreos donde aparece el taxón *i*

N= Número total de Muestreos.

#### **5.5.5. Calculo de la Riqueza de Especies**

Se calculó el número total de especies censadas en cada punto muestreado tanto en columna de agua y sedimento superficial, para indicar la variación entre las dos comunidades en cuanto al número de especies (MORENO, 2001).

#### **5.5.6. Cálculos de Índices de Dominancia**

Se tomó en cuenta la representatividad de las especies con mayor valor de importancia sin evaluar la contribución del resto de las especies. Usando los siguientes índices:

- **Índice de dominancia de Simpson (D)**

Este índice midió la importancia de las especies más dominantes ( $p_i$ ). Usando la siguiente formula:

$$\lambda = \sum p_i^2$$

Dónde:

$p_i^2$  = abundancia proporcional de la especie  $i$ , es decir, el número de individuos de la especie  $i$  dividido entre el número total de individuos de la muestra. (MORENO, 2001).

#### 5.5.7. Calculo de Índices de Diversidad

- **Índice de Shannon – Wiener ( $H'$ )**

Se definió como la relación entre el número de individuos y el número de especies encontradas en un ambiente determinado, es expresa en bits/ individuo y se obtienen valores de 0-5 (Moreno, 2001).

$$H' = - \sum p_i \log_2 p_i$$

$$p_i = n_i / n$$

$n_i$  = número de individuos de una especie

$n$  = total de individuos

- **Índice de Equidad de Pielou ( $J'$ )**

Midió la proporción observada con relación a la máxima diversidad esperada. El valor es expresado de 0 a 1. El valor 1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes (MORENO, 2001).

$$J' = ( H' / H'_{\max} )$$

Dónde:

$H'_{\max} = \ln S$

$H'_{\max}$  = Índice de Shannon – Wiener máximo

$\ln$  = logaritmo neperiano

$S$  = número de especies

#### 5.5.8. Cálculos de Índices de Similitud

- **Índice de similitud de Jaccard (IJ)**

Solo para datos cualitativos, se expresó como:

$$IJ = C / (a + b - c)$$

Dónde:

$a$  es el número de especies presentes en el sitio A

$b$  es el número de especies del sitio B

$c$  es el número de especies que tienen en común los sitios A y B.

El valor será 0 cuando no haya especies compartidas entre ambos sitios y 1 cuando ambos tengan la misma composición de especies. (MORENO, 2001)

#### 5.6. Procesamiento de datos y análisis estadístico

En cada estación de muestreo se determinó el número, abundancias en porcentaje e índices de diversidad de las especies de fitoplancton tanto en columna de agua como en sedimento superficial y su relación con los principales parámetros oceanográficos (temperatura, salinidad y oxígeno disuelto), así como la determinación del grado de preservación de las muestra.

Se realizaron gráficos de las distribuciones de los parámetros oceanográficos en el programa Ocean Data View y Excel, el mapa de distribución de estaciones ha sido elaborado en el programa Surfer versión 10. Se hicieron correlaciones entre los datos de abundancias de fitoplancton silíceo en columna de agua y sedimentos empleando métodos estadísticos no paramétricos.

Se determinaron valores de similitud específica a nivel comunitario entre las estaciones, por el método de agrupamiento, mediante el análisis de Jaccard, Se realizó la correlación de Sperrman para la determinación de la relación entre las variables cuantitativas. Este análisis relaciona las variables físicoquímicas, el número de especie, la profundidad, concentración de diatomeas g.sed. seco y densidad celular.

Se realizó el Test de Bondad de Ajuste de Shapiro - Wilk para analizar si las variables presentaron una distribución normal, luego se aplicarán pruebas estadísticas no paramétricas para las correlaciones utilizándose el análisis de correlación de Spearman, además se realizó la prueba T- students para la diferenciación de medias entre los diferentes puntos de muestreo.

Se emplearon los programas estadísticos STATISTICA 6.0 y PAST (*Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis versión 2.00*) para los análisis de datos.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Factores fisicoquímicos

Se muestran las secciones de la distribución y variabilidad de la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en columna de agua a diferentes profundidades y en diferentes latitudes en las estaciones de muestreo (figura 7). Se observó que el núcleo de la Zona Mínima de Oxígeno (ZMO) estuvo entre 300 y 400m, disminuyendo en grosor e intensidad hacia el ecuador. El área que se encuentra entre los 5° y 7° S marcó la transición entre la zona de desarrollo máximo de la ZMO hacia el sur y la zona más ventilada cerca del ecuador (figura 8).

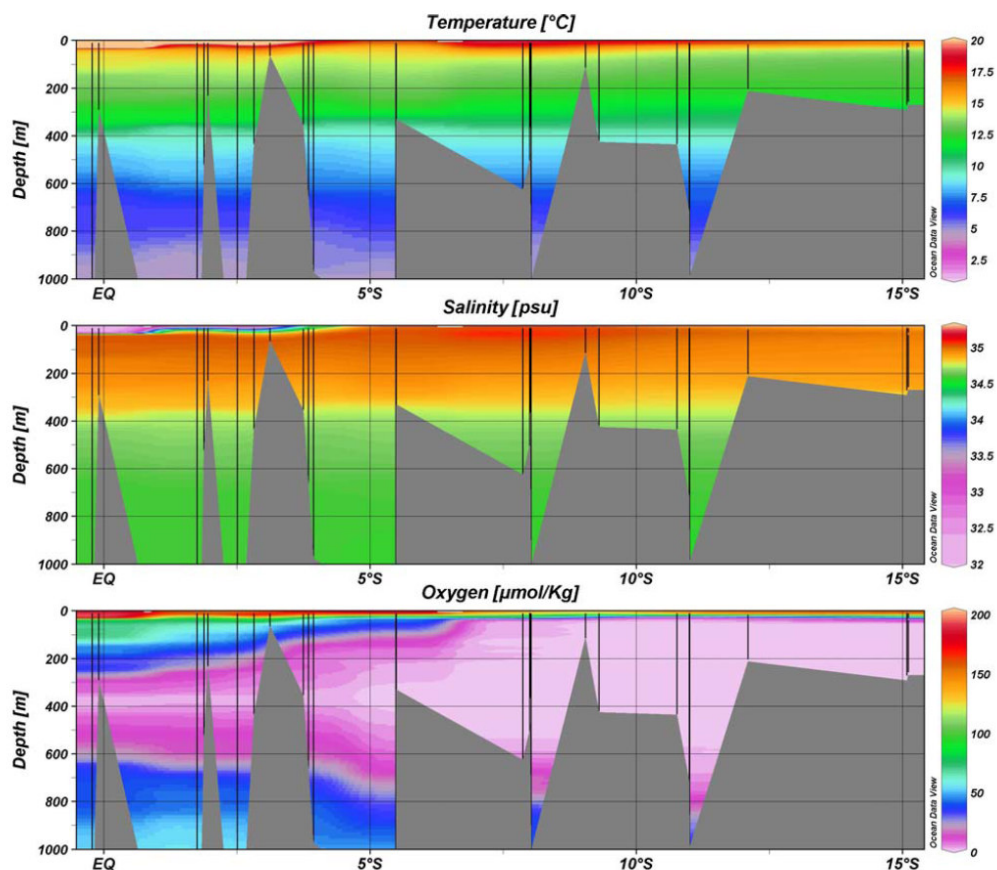


Figura 8. Secciones latitudinales de valores de temperatura, salinidad y oxígeno obtenidas por sensores CTD en las estaciones de muestreo desde la línea ecuatorial (Ecuador ~0°) hasta Punta San Fernando, Ica (Perú~ 15°S) durante el crucero METEOR 77-2, primavera 2008.

La variación latitudinal de los valores de temperatura (°C), Salinidad (ups) y Oxígeno disuelto (ml/L) en las estaciones de muestreo para este estudio se muestran en la tabla 8.

#### ***6.1.1. Temperatura Superficial Del Mar (TSM)***

La temperatura superficial del mar fluctuó entre 15,8°C y 25,54°C. Las mayores temperaturas (25,54°C) se registraron frente a Ecuador y las mínimas (15,80°C) frente a Pta. San Fernando.

La variación de la temperatura superficial del mar es creciente conforme disminuye la latitud hacia el Ecuador (figura 8).

#### ***6.1.2. Salinidad (UPS)***

Los valores de salinidad en la superficie fluctuaron entre 32,11ups y 35,12 ups, los mayores valores se encuentran frente a Chimbote y los valores menores frente a Ecuador (figura 8).

Los valores de salinidad en superficie a 5m en las estaciones del Ecuador varían entre 32,1ups y 33,7 ups. En la estación Pta. San Fernando, Huacho, Chimbote, Trujillo y Piura los valores a diferentes profundidades son homogéneos (figura 9).

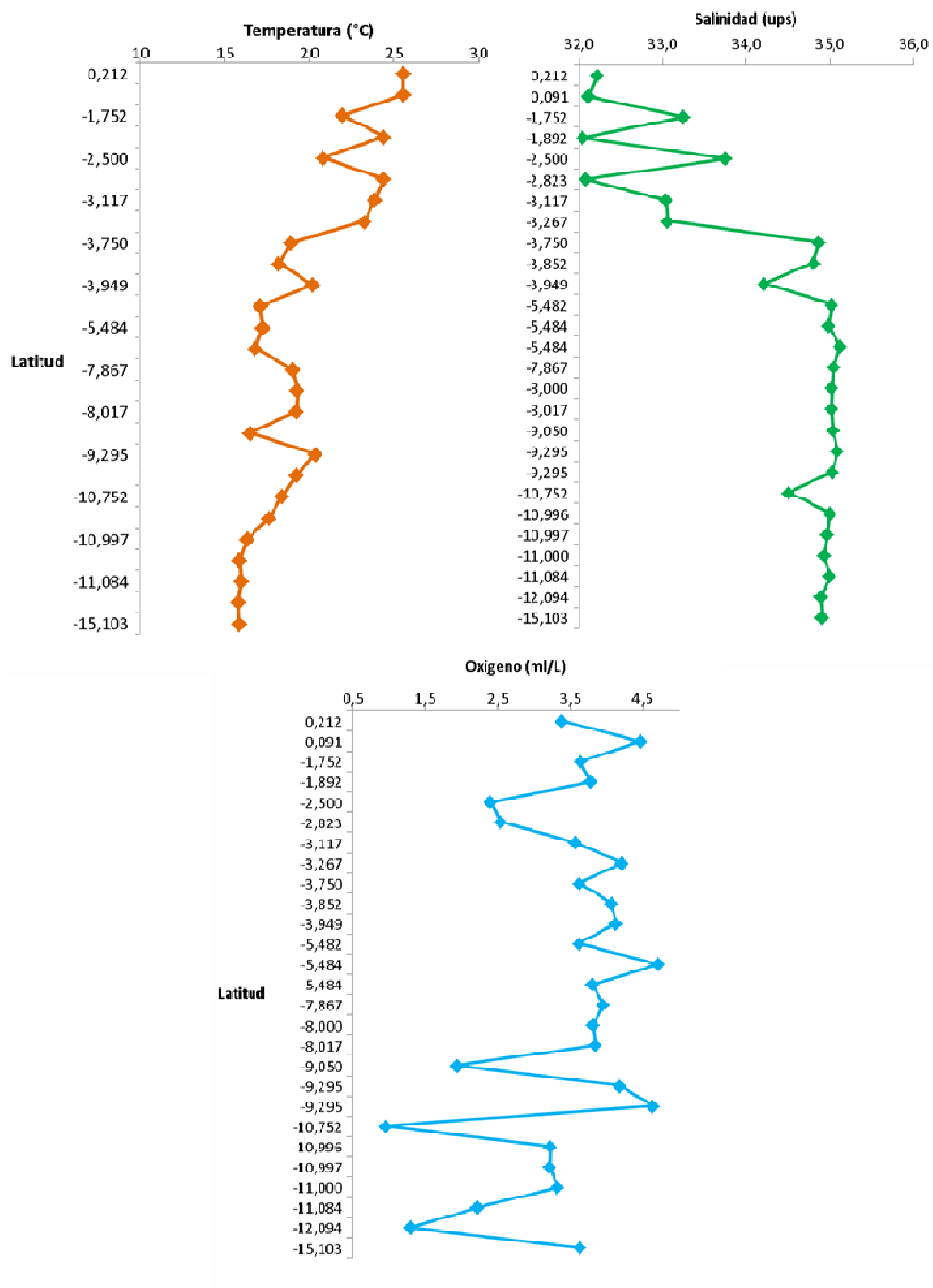


Figura 9 .Variación latitudinal de los valores de temperatura (°C), Salinidad (ups) y Oxígeno disuelto (ml/L) en superficie en las estaciones de muestreo desde la línea ecuatorial (Ecuador ~0°) hasta Punta San Fernando, Ica (Perú ~15°S) durante el crucero METEOR 77-2.



*Tabla 8. Valores de Temperatura (°C), Salinidad (ups) y Oxígeno disuelto (ml/L) en superficie en las estaciones de muestreo a nivel superficial desde la línea ecuatorial (Ecuador ~0°) hasta Punta San Fernando, Ica (Perú ~15°S) durante el crucero METEOR 77-2.*

Estaciones	Área	Long	Lat	Temperatura (°C)	Salinidad (ups)	Oxígeno (ml/L)
M772-003	San Juan	15°06.21'S	75°41.28'W	15,85	34,907	3,625
M772-005	Callao	12°05.66'S	77°40.07'W	15,80	34,892	1,296
M772-014	Callao	11°00.02'S	78°31.16'W	15,87	34,932	3,325
M772-016	Callao	10°59.80'S	78°05.21'W	16,34	34,965	3,213
M772-020	Callao	10°59.76'S	78°25.92'W	17,63	34,999	3,226
M772-024	Huacho	11°05.01'S	78°00.91'W	15,98	34,996	2,217
M772-026	Huacho	10°45.13'S	78°28.43'W	18,37	34,507	0,946
M772-028	Chimbote	09°18.11'S	79°53.97'W	20,34	35,092	4,178
M772-029	Chimbote	09°17.70'S	79°37.11'W	19,21	35,035	4,642
M772-031	Chimbote	09°02.97'S	79°26.88'W	16,48	35,039	1,934
M772-045	Trujillo	08°00.34'S	80°20.85'W	19,27	35,021	3,812
M772-047	Trujillo	07°52.01'S	80°31.36'W	19,00	35,046	3,954
M772-050	Trujillo	08°01.04'S	80°30.13'W	19,21	35,017	3,844
M772-052	Piura	05°29.01'S	81°27.01'W	17,23	34,984	4,712
M772-053	Piura	05°28.94'S	81°34.03'W	17,08	35,022	3,615
M772-054	Piura	05°29.61'S	81°18.41'W	16,81	35,121	3,801
M772-056	Tumbes	03°44.99'S	81°07.47'W	18,92	34,873	3,621
M772-059	Tumbes	03°56.48'S	81°18.83'W	20,18	34,214	4,124
M772-060	Tumbes	03°51.09'S	81°15.49'W	18,20	34,810	4,069
M772-062	Ecuador	02°30.01'S	81°14.71'W	20,82	33,754	2,402
M772-064	Ecuador	01°52.93'S	81°11.70'W	24,37	32,045	3,781
M772-067	Ecuador	01°45.14'S	82°37.47'W	21,97	33,253	3,638
M772-069	Ecuador	03°15.82'S	80°57.29'W	23,24	33,060	4,213
M772-070	Ecuador	03°07.16'S	80°39.13'W	23,83	33,043	3,567
M772-072	Ecuador	02°49.37'S	81°00.75'W	24,37	32,084	2,543
M772-075	Ecuador	00°12.70'N	80°39.77'W	25,54	32,223	3,382
M772-076	Ecuador	00°05.44'N	80°33.40'W	25,53	32,112	4,463

### **6.1.3. Oxígeno Disuelto (O. D)**

El oxígeno disuelto en superficie fluctuó entre 1,29 ml/L a 4,71ml/.L el valor mínimo se encuentra frente a Callao y el valor máximo frente a Piura.

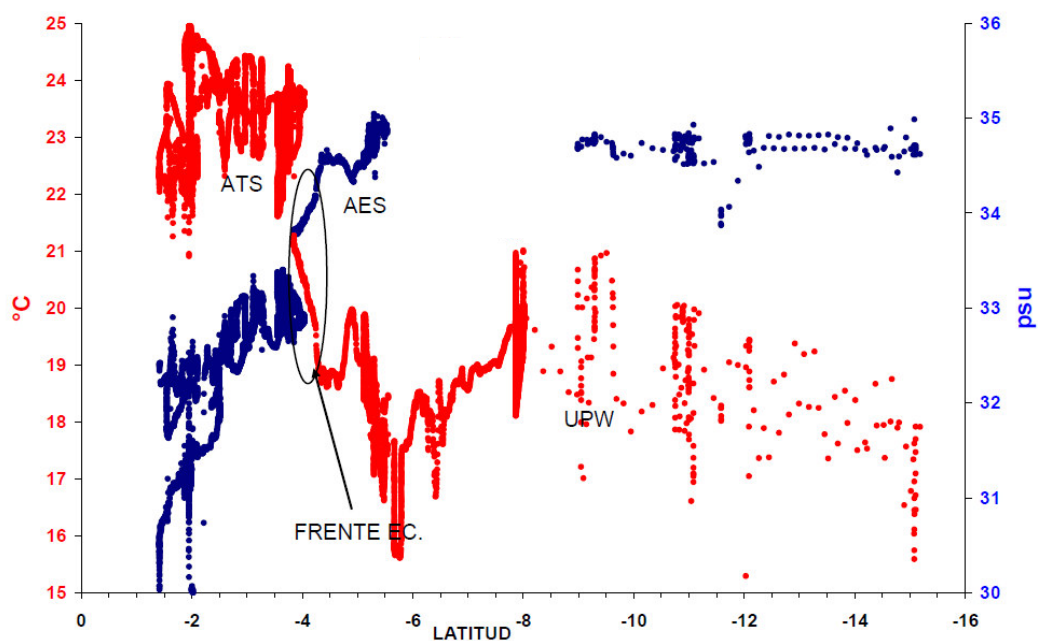
#### **6.1.4. Masas de Agua**

Los datos de temperatura y salinidad superficial muestran una clara caracterización de las diferentes masas de agua superficiales y surgencia costera. En el área de estudio se observaron la predominancia de tres tipos de masas de agua superficiales.

Frente a las estaciones de Pta. San Fernando hasta las estaciones de Piura dominaron las Aguas Costeras Frías (ACF) con temperaturas entre 15,80°C frente a Callao y 19,27°C frente a Trujillo, y salinidades que oscilan entre 34,50 ups frente a Huacho y 35,12 ups frente a Piura.

Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES) dominaron frente a Tumbes con valores de temperaturas entre 18,20 a 20,82 °C y salinidades entre 34,1 y 34,8 ups. Frente a las estaciones de Ecuador se indica la presencia de las Aguas Tropicales Superficiales con temperaturas mayores a 25 °C y salinidades por debajo de 32,1 ups.

En profundidad se evidencia la presencia de las Aguas Ecuatoriales Sub Superficiales (AESS) a partir de los 20m con valores de salinidad de 34,9 ups a 35,1 ups y temperatura de 13°C a 15°C (figura 10).



*Figura 10. Datos de temperatura y salinidad superficial durante el M77-2. Se señalan masas de agua (ATS=Aguas Tropicales Superficiales y AES=Aguas Ecuatoriales Superficiales), aguas afloradas (UPW) y posición de frente ecuatorial.*

En superficie se observó una gran extensión de las aguas de surgencia hasta los 5°30'S y una transición rápida hacia Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES) y Aguas Tropicales Superficiales (ATS) hacia el norte del Perú; aproximadamente el frente ecuatorial se ubicó a los 4° S.

La distribución vertical de los parámetros fisicoquímicos en columna de agua para las diferentes estaciones se presenta en la tabla 9.

Frente a Callao, la termoclina presentó una variación homogénea en columna de agua, presentando isotermas en los 14°C y 15°C, a profundidades de 5m a 40m. La oxiclina presentó una distribución profunda entre los 20m a 25m, la ZMO se presentó a partir de los 30m (figura 11).

Frente a Chimbote, la termoclina se presentó entre los 16,4°C a 18°C a una profundidad de 40m a 50m. El oxígeno disuelto encontrado en la zona varió entre 0,6 ml/L y 4,1 ml/L, siendo la mínima de oxígeno profunda a los 50 m. La salinidad presentó valores constantes hasta los primeros 50m con valores de 35 ups (figura 12).

Frente a Trujillo, la termoclina se presentó entre los 17,6 y 18,8 °C a una profundidad entre 15 y 20m. El oxígeno disuelto encontrado en la zona varió entre 0.1 ml/L y 3,8 ml/L, siendo la mínima de oxígeno profunda a los 50 m. La salinidad presentó valores constantes hasta los primeros 50m con valores de 35 ups (figura 13).

Frente a Piura, la termoclina se presentó entre los 15,7 a 16,5 °C a una profundidad de 15 a 20 m. El oxígeno disuelto encontrado en la zona varió entre 1,2 ml/L y 3,8 ml/L, siendo la mínima de oxígeno a los 30 m. La salinidad obtuvo valores constantes hasta los primeros 40m con valores de 35 ups (figura 14).

Frente a Tumbes, la termoclina presentó valores entre los 16°C a 20°C a una profundidad de 15m. La distribución del oxígeno mostró una oxiclina formada entre los 0,8 ml/L a 2ml/L, encontrándose una oxiclina profunda 20m a 40m. La salinidad presentó valores de 33ups a 34 ups en superficie y de 35 ups en profundidad (figura 15).

*Tabla 9. Distribución vertical de los parámetros fisicoquímicos en columna de agua para las diferentes estaciones de muestreo desde la línea ecuatorial (Ecuador ~0°) hasta Punta San Fernando, Ica (Perú~ 15°S) durante el crucero METEOR 77-2.*

Estaciones	Área	Long	Lat	Profundidad(m)	Temperatura (°C)	Salinidad (ups)	Oxígeno (ml/L)
M772-005	Callao	12°05.88'S	77°40.07'W	5	15,801	34,892	1,296
				10	15,788	34,989	1,293
				15	15,738	34,971	1,290
				20	15,623	34,976	1,104
				25	15,348	34,984	0,559
				30	14,995	34,992	0,294
				40	14,161	34,997	0,034
				50	13,864	34,988	0,031
M772-022	Huacho	10°53.85'S	78°46.33'W	5	19,892	34,873	5,478
				10	19,629	34,973	5,344
				20	19,236	35,174	4,539
M772-028	Chimbote	09°18.11'S	79°53.97'W	5	20,342	35,092	4,178
				10	20,127	35,099	4,146
				15	19,045	35,096	4,730
				20	18,777	35,085	4,430
				25	18,483	35,234	4,181
				30	18,098	35,205	3,476
				40	16,459	35,093	1,595
				50	15,708	35,057	0,647
M772-045	Trujillo	08°00.34'S	80°20.85'W	5	19,267	35,021	3,812
				10	19,096	35,010	3,779
				15	18,891	35,039	3,850
				20	17,659	35,054	2,499
				25	17,246	35,080	1,794
				30	17,003	35,094	1,338
				40	16,208	35,092	0,268
				50	15,719	35,064	0,163
M772-054	Piura	05°29.61'S	81°18.41'W	5	16,812	35,121	3,801
				10	16,731	35,012	3,790
				15	16,535	35,013	3,593
				20	15,736	35,024	2,313
				30	15,368	35,025	1,625
				40	15,123	35,029	1,252
M772-056	Tumbes	03°44.99'S	81°07.47'W	5	18,921	34,873	3,621
				10	18,834	34,755	3,563
				15	18,728	34,654	3,498
				20	17,855	34,845	3,681
				30	15,740	35,034	1,840
				40	15,383	35,040	1,632
M772-057	Tumbes	03°47.01'S	81°34.37'W	5	17,923	34,743	2,132
				10	17,789	34,704	2,062
				15	16,140	35,040	2,141
				20	15,737	35,031	2,077
				30	15,737	35,031	2,077
				40	14,808	35,028	0,832
M772-059	Tumbes	03°58.48'S	81°18.83'W	5	20,180	34,214	4,124
				10	20,177	34,205	4,111
				15	16,783	34,985	3,703
				20	15,675	35,020	2,460
				30	14,906	35,040	1,312
				40	14,595	35,039	0,917
M772-062	Ecuador	02°30.01'S	81°14.71'W	5	20,819	33,754	2,402
				15	20,257	34,032	4,216
				25	17,455	34,730	3,006
M772-064	Ecuador	01°52.93'S	81°11.70'W	5	24,367	32,045	3,781
M772-069	Ecuador	03°15.82'S	80°57.29'W	5	23,237	33,080	4,213
M772-070	Ecuador	03°07.10'S	80°39.13'W	5	23,828	33,043	3,567
M772-072	Ecuador	02°49.37'S	81°00.75'W	5	24,367	32,084	2,543
M772-075	Ecuador	00°12.70'N	80°39.77'W	5	25,544	32,223	3,382
M772-076	Ecuador	00°05.44'N	80°33.40'W	5	25,528	32,112	4,463

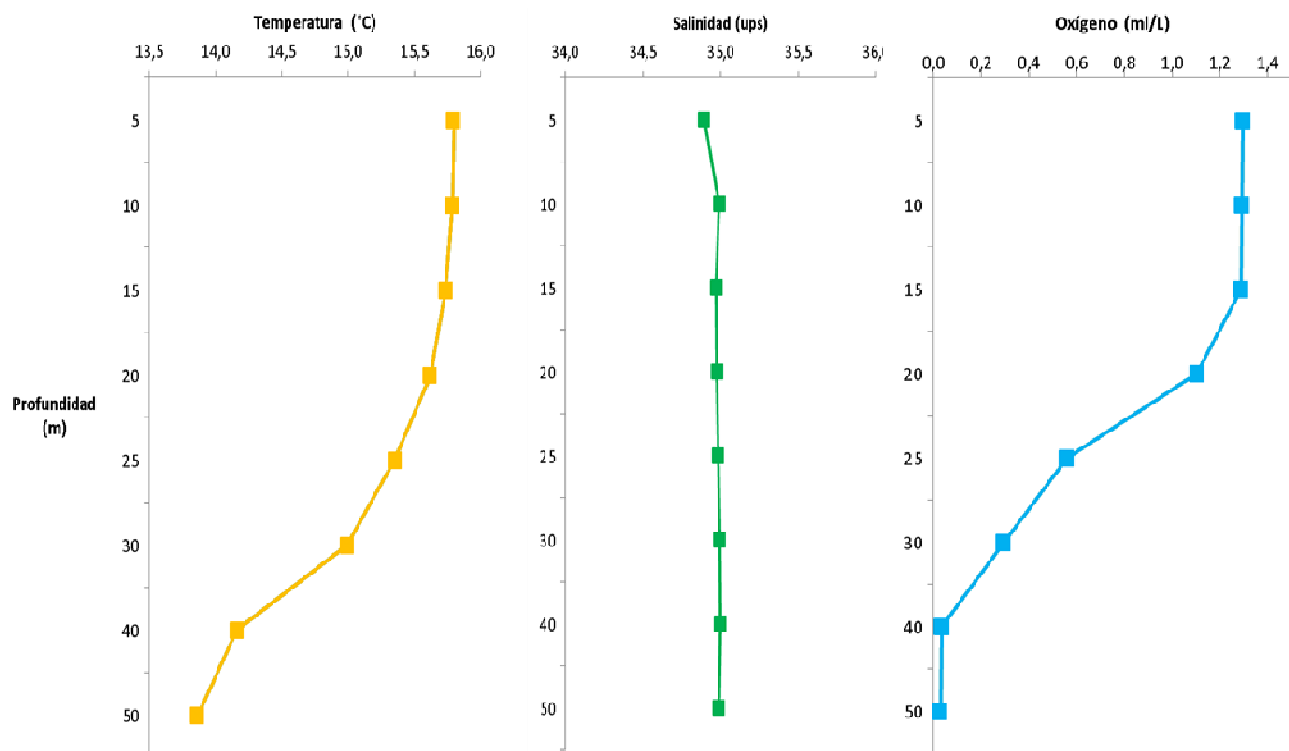


Figura 11. Perfiles verticales de temperatura (°C), salinidad (ups) y oxígeno disuelto (ml/L) frente a Callao

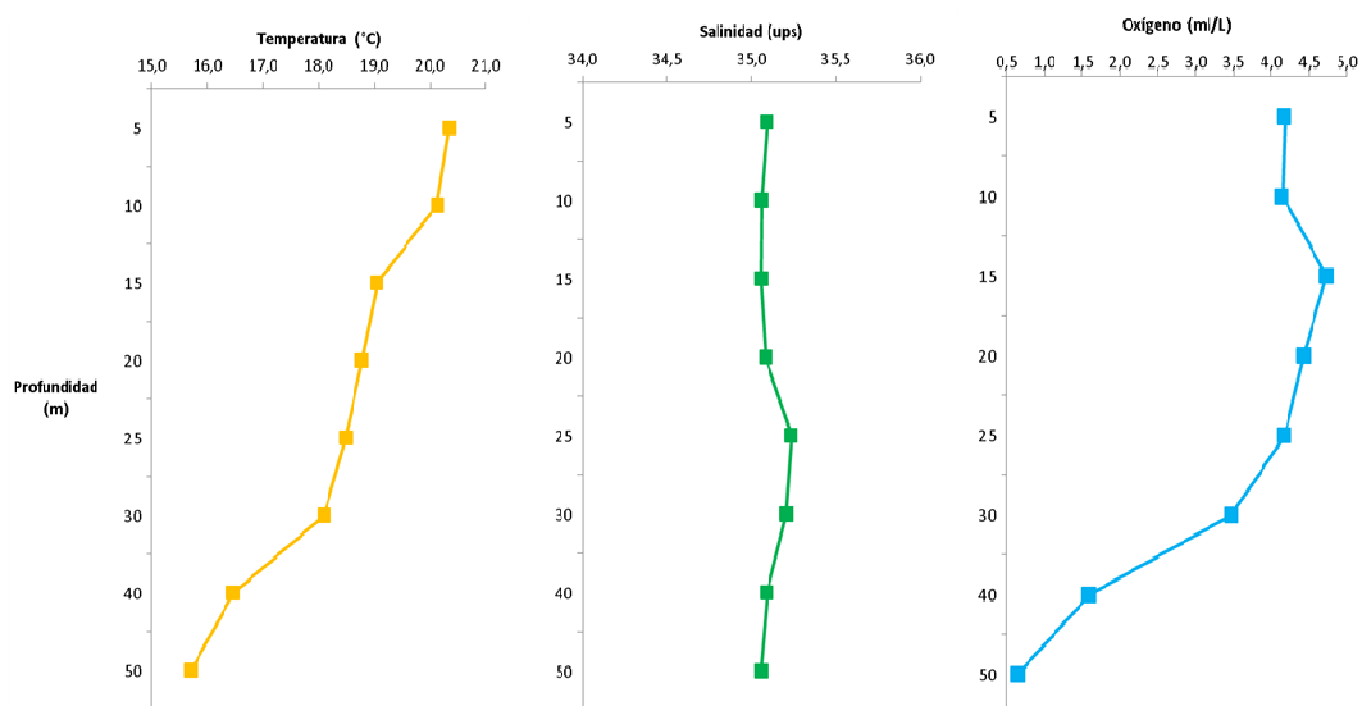


Figura 12. Perfiles verticales de temperatura (°C), salinidad (ups) y oxígeno disuelto (ml/L) frente a Chimbote

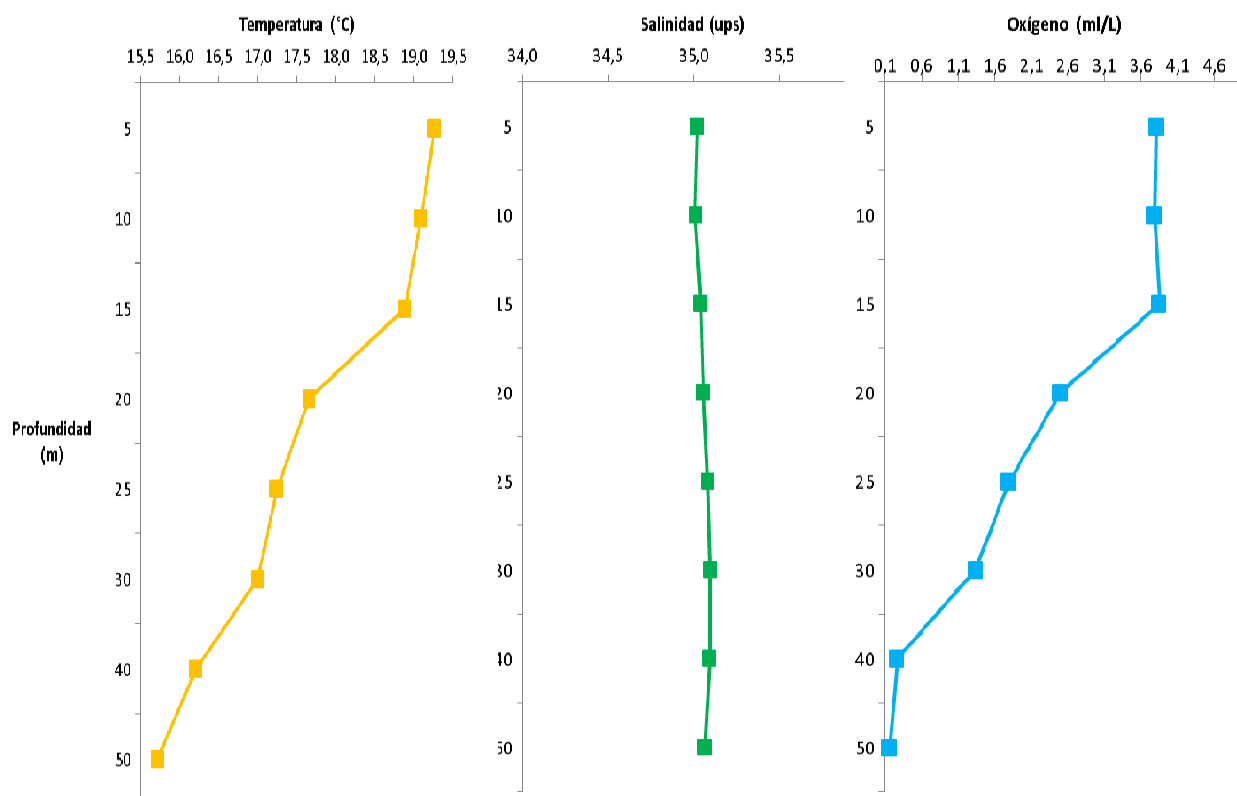


Figura 13. Perfiles verticales de temperatura (°C), salinidad (ups) y oxígeno disuelto (ml/L) frente a Trujillo

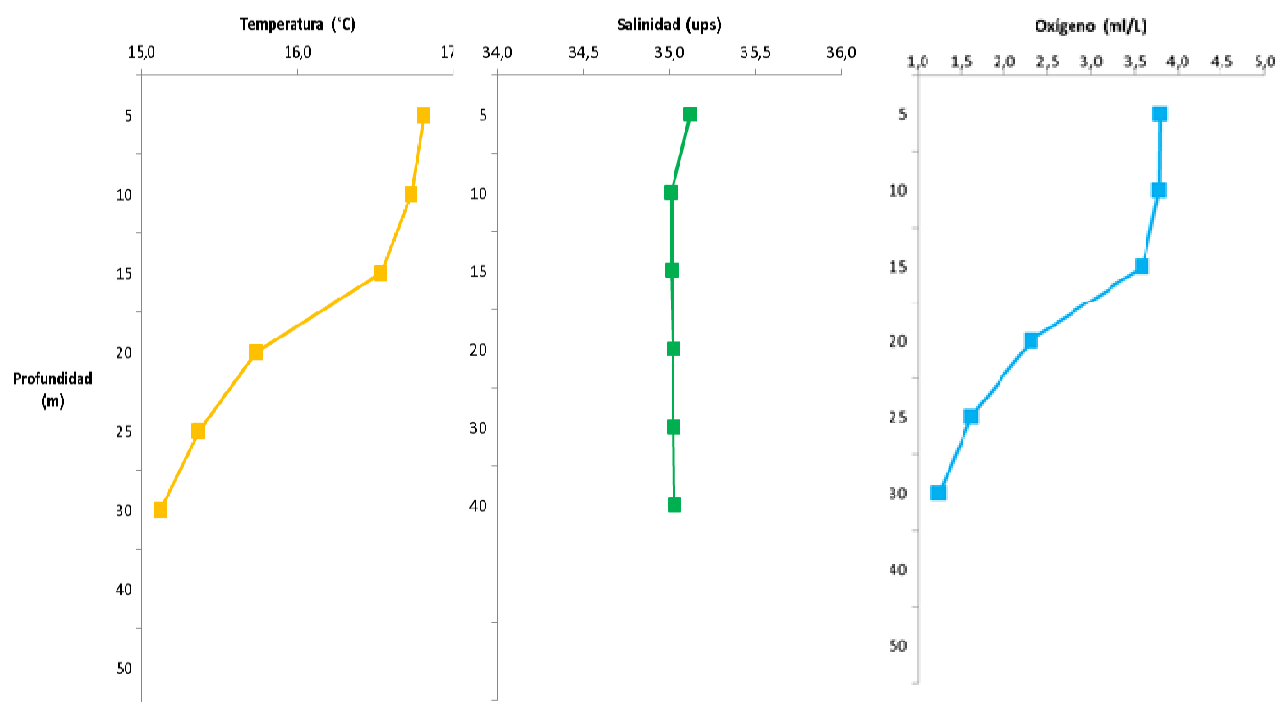


Figura 14. Perfiles verticales de temperatura (°C), salinidad (ups) y oxígeno disuelto (ml/L) frente a Piura

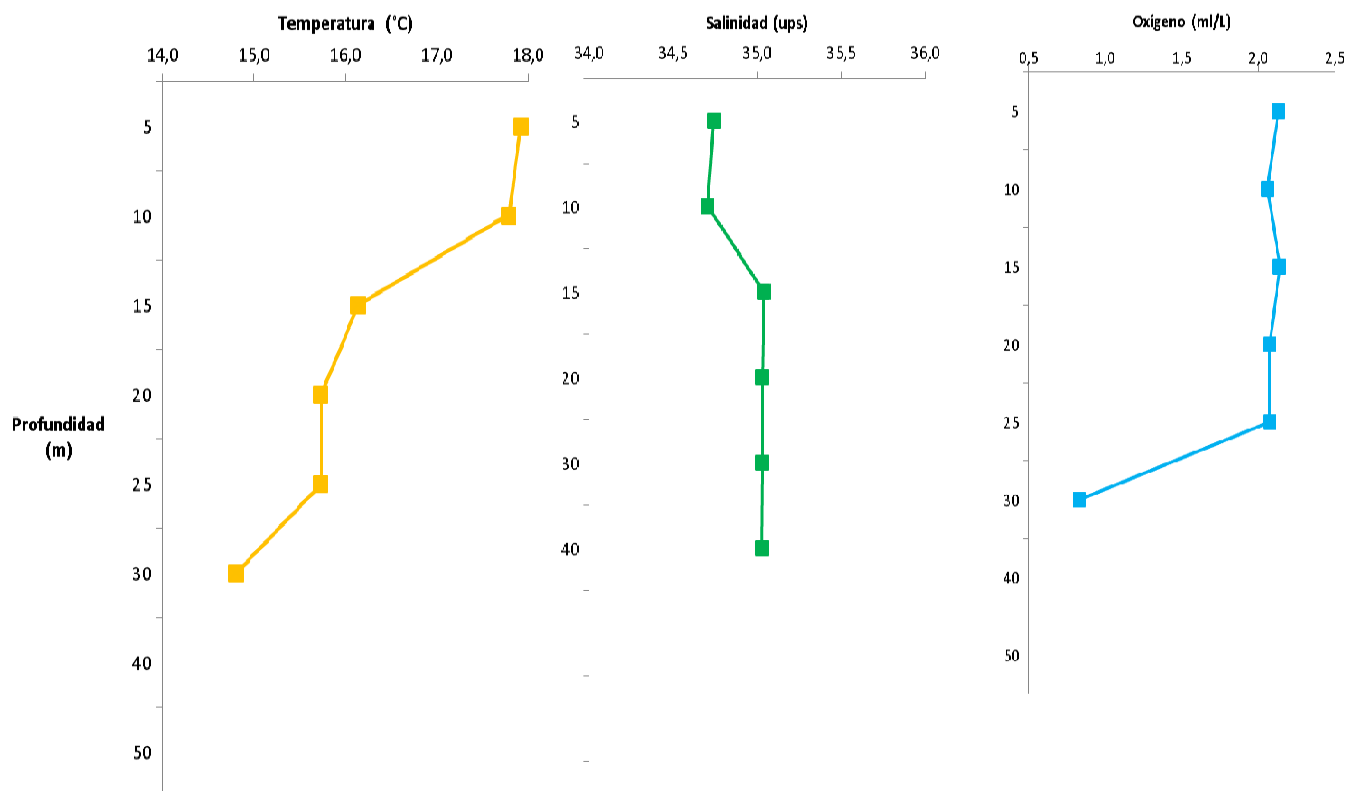


Figura 15. Perfiles verticales de temperatura (°C), salinidad (ups) y oxígeno disuelto (ml/L) frente a Tumbes



### 6.1.5. Correlaciones entre los parámetros fisicoquímicos y las variables de abundancia celular en columna de agua y sedimento.

Se realizó el Test de Bondad de Ajuste de Shapiro - Wilk el cuál reveló que las variables seguían una distribución no normal ( $p < 0.05$ ), por lo tanto se aplicaron pruebas estadísticas no paramétricas para las correlaciones utilizándose el análisis de correlación de Spearman.

En la tabla 10, se muestra el resumen de todas las correlaciones de Spearman entre los parámetros fisicoquímicos y variables de abundancia celular. Los parámetros fisicoquímicos no presentan relación entre la abundancia de las especies (columna de agua), concentración de valvas (sedimento) y el número de especies.

*Tabla 10. Correlación de los parámetros fisicoquímicos y las variables de abundancias celulares en columna de agua (cuadro superior) y concentración de valvas en sedimento superficial (cuadro inferior).*

	Estaciones	Latitud	Profundidad(m)	Abundancia(N°Cél/L)	Temperatura (°C)	Salinidad (ups)	Oxígeno (ml/L)
Estaciones	1,00	<b>0,96</b>	<b>-0,34</b>	-0,17	<b>0,37</b>	<b>-0,51</b>	<b>0,26</b>
Latitud	<b>0,96</b>	1,00	<b>-0,33</b>	-0,18	<b>0,38</b>	<b>-0,51</b>	0,23
Profundidad(m)	<b>-0,34</b>	<b>-0,33</b>	1,00	-0,23	<b>-0,77</b>	<b>0,56</b>	<b>-0,63</b>
Abundancia(N°Cél/L)	-0,17	-0,18	-0,23	1,00	0,04	-0,23	0,00
Temperatura (°C)	<b>0,37</b>	<b>0,38</b>	<b>-0,77</b>	0,04	1,00	<b>-0,37</b>	<b>0,81</b>
Salinidad (ups)	<b>-0,51</b>	<b>-0,51</b>	<b>0,56</b>	-0,23	<b>-0,37</b>	1,00	-0,12
Oxígeno (ml/L)	<b>0,26</b>	0,23	<b>-0,63</b>	0,00	<b>0,81</b>	-0,12	1,00
Marked correlations are significant at $p < 0,05000$							
	Estaciones	Concentracion valvas (x10 <sup>6</sup> valvas/sed.Sec)	N° especies	Latitud (S)	Temperatura (°C)	Salinidad (ups)	Oxígeno (ml/L)
Estaciones	1,00	<b>-0,44</b>	<b>-0,57</b>	<b>0,97</b>	<b>0,75</b>	<b>-0,66</b>	-0,02
Concentracion valvas(x10 <sup>6</sup> valvas/sed. Sec)	<b>-0,44</b>	1,00	<b>0,64</b>	<b>-0,42</b>	-0,35	0,25	0,34
N° especies	<b>-0,57</b>	<b>0,64</b>	1,00	<b>-0,50</b>	<b>-0,44</b>	0,36	0,18
Latitud (S)	<b>0,97</b>	<b>-0,42</b>	<b>-0,50</b>	1,00	<b>0,76</b>	<b>-0,66</b>	0,02
Temperatura (°C)	<b>0,75</b>	-0,35	<b>-0,44</b>	<b>0,76</b>	1,00	<b>-0,63</b>	0,13
Salinidad (ups)	<b>-0,66</b>	0,25	0,36	<b>-0,66</b>	<b>-0,63</b>	1,00	0,30
Oxígeno (ml/L)	-0,02	0,34	0,18	0,02	0,13	0,30	1,00
Marked correlations are significant at $p < 0,05000$							

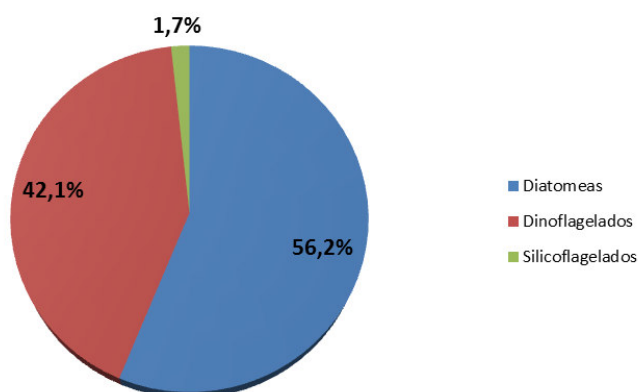
## **6.2. Fitoplancton silicio en Columna de agua**

### **6.2.1. Análisis Cualitativos (Arrastre Vertical)**

#### **6.2.1.1. Estructura comunitaria de las especies fitoplanctónicas**

El análisis de arrastre vertical de los primeros 30 m. de profundidad presentó un total de 121 especies en todas las estaciones: 68 diatomeas, 51 dinoflagelados y 2 silicoflagelados (anexo 4).

Los grupos dominantes se encuentran representados por las diatomeas (56,2%), seguidas de los dinoflagelados (42,1%) y en un menor porcentaje los silicoflagelados (1,7%) (figura 16).



*Figura 16. Porcentaje de grupos de fitoplancton colectados por arrastre vertical en las estaciones de muestreo*

En la tabla 11 se presenta la relación principal de especies de fitoplancton silíceo colectado en columna de agua y sedimento superficial.

Tabla 11 Relación de grupos de especies de fitoplancton síliceo, colectadas en las estaciones de muestreo durante el crucero METEOR 2008 frente al Perú y Ecuador

C=Columna de agua y S= Sedimento superficial.

BACILLARIOPHYTAS			
Orden Centrales	Ambiente	Orden centrales	Ambiente
<i>Actinocyclus octonarius</i>	S	<i>Hemidiscus cuneiformis</i>	C
<i>Actinoptychus senarius</i>	S	<i>Leptocylindrus danicus</i>	C,S
<i>Actinoptychus splendens</i>	C,S	<i>Leptocylindrus mediterraneus</i>	C
<i>Actinoptychus vulgaris</i>	S	<i>Lithodesmiun undulatum</i>	C,S
<i>Actinoptychus quinarius</i>	S	<i>Odontella aurita</i>	C,S
<i>Amphiprora</i> sp.	C	<i>Odontella longicruris</i>	S
<i>Asteromphalus flabellatus</i>	S	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	C
<i>Asteromphalus heptactis</i>	C,S	<i>Planktoniella sol</i>	C,S
<i>Azpeitia nodulifera</i>	C,S	<i>Proboscía alata</i>	C
<i>Azpeitia tabularis</i>	S	<i>Pseudosolenia calcar-avis</i>	C
<i>Azpeitia</i> sp.	S	<i>Rhizosolenia acuminata</i>	C,S
<i>Bacteriastrum delicatulum</i>	C,S	<i>Rhizosolenia bergonii</i>	C,S
<i>Bidulphia alternans</i>	S	<i>Rhizosolenia chunii</i>	C
<i>Cerataulina pelagica</i>	C	<i>Rhizosolenia cylindrus</i>	C
<i>Chaetoceros affinis</i>	C	<i>Rhizosolenia hebetata</i>	C,S
<i>Chaetoceros atlanticus</i>	C	<i>Rhizosolenia robusta</i>	C
<i>Chaetoceros compressus</i>	C	<i>Rhizosolenia setigera</i>	C
<i>Chaetoceros diadema</i>	C	<i>Rhizosolenia styliiformis</i>	C,S
<i>Chaetoceros eibonii</i>	C	<i>Roperia tessellata</i>	C,S
<i>Chaetoceros debilis</i>	C	<i>Skeletonema costatum</i>	C,S
<i>Chaetoceros diciptens</i>	C	<i>Stephanopsis palmeriana</i>	C
<i>Chaetoceros didymus</i>	C	<i>Stephanopsis turris</i>	C
<i>Chaetoceros lasciniosus</i>	C	<i>Thalassiosira anguste-lineata</i>	C,S
<i>Chaetoceros lauderi</i>	C	<i>Thalassiosira angulata</i>	C,S
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	C	<i>Thalassiosira eccentrica</i>	C
<i>Chaetoceros messanensis</i>	C	<i>Thalassiosira rotula</i>	C,S
<i>Chaetoceros peruvianus</i>	C	<i>Thalassiosira</i> sp.	S
<i>Chaetoceros socialis</i>	C	<i>Thalassiosira subtilis</i>	C
<i>Climacodiu frauenfeldianum</i>	C	<b>Orden Pennales</b>	
<i>Corethron histrix</i>	C	<i>Asterionellopsis glacialis</i>	C
<i>Coscinodiscus granii</i>	C	<i>Cylindrotheca closterium</i>	C
<i>Coscinodiscus marginatus</i>	C	<i>Delphineis surirella</i>	S
<i>Coscinodiscus oculus-iridis</i>	S	<i>Entomoneis alata</i> var <i>alata</i>	C,S
<i>Coscinodiscus perforatus</i>	C,S	<i>Fragilariopsis doliolus</i>	C,S
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	C	<i>Gramatophora marina</i>	S
<i>Coscinodiscus wailesii</i>	C	<i>Gyrosigma</i> sp.	C,S
<i>Coscinodiscus</i> sp.	S	<i>Licmophora abbreviata</i>	C
<i>Cyclotella striata</i>	S	<i>Navicula</i> sp.	S
<i>Dactilosolen fragilissimus</i>	C	<i>Pleurosigma</i> sp.	C,S
<i>Dactilosolen phuketensis</i>	C	<i>Pseudonitzschia delicatissima</i>	C,S
<i>Detonula pumila</i>	C	<i>Pseudonitzschia pungens</i>	C,S
<i>Ditylum brightwellii</i>	C	<i>Thalassionema bacillare</i>	C,S
<i>Espora de resistencia de Chaetocero:</i>	S	<i>Thalassionema frauenfeldii</i>	C
<i>Eucampia zodiacus</i>	C	<i>Thalassionema longissima</i>	C
<i>Guinardia flaccida</i>	C	<i>Thalassionema nitzschoides</i>	C,S
<i>Guinardia striata</i>	C	<b>Silicoflagelados</b>	
<i>Helicotheca tamesis</i>	C	<i>Dictyocha fibula</i>	C,S
<i>Hemiaulus membranaceus</i>	C	<i>Dictyocha messanensis</i>	S
<i>Hemiaulus sinensis</i>	C	<i>Octactis octonaria</i>	C,S

### 6.2.1.2. Variación latitudinal

Durante el período de estudio, se observó una variación latitudinal de las especies a lo largo de toda la costa.

Entre las diatomeas se observó la presencia de *Detonula pumila* a 5° y de 9° a 15° LS°. El género *Chaetoceros* estuvo muy bien representado, especialmente la especie *Chaetoceros debilis* encontrada entre los 11° a 15° LS a y 5° LS *Chaetoceros diadema*, presente de 9° LS a 11° LS y 5° LS, con la mayor abundancia a los 9° LS, *Chaetoceros affinis* a los 11° LS a 15° LS y a los 5° LS, *Pseudonitzschia delicatissima* presente con la mayor abundancia a los 12° LS. *Eucampia zodiacus*, a los 10° LS y 11° LS.

La abundancia relativa (%) de las especies principales muestra que esta comunidad estuvo representada por *Detonula pumila* (34,73%) *Eucampia zodiacus*, (6,13%) y *Pseudonitzschia delicatissima* (6,17%) (figura 17).

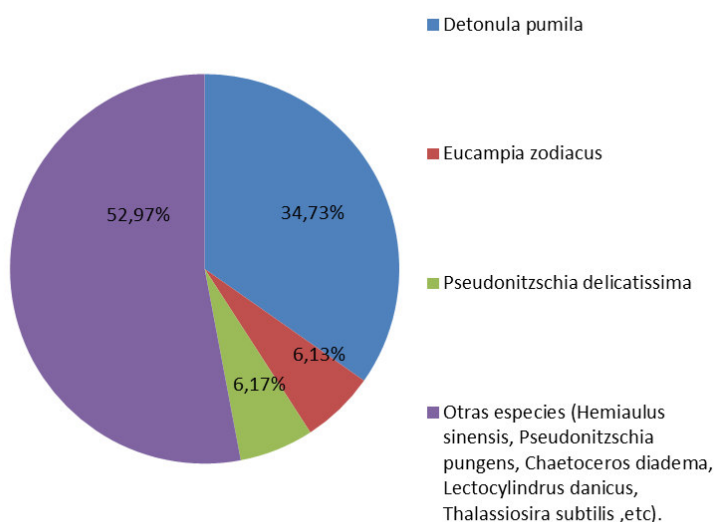
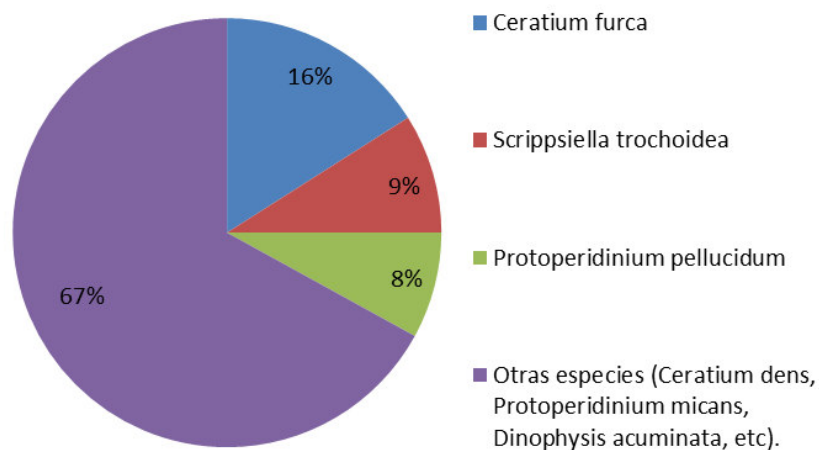


Figura 17. Abundancia relativa (%) de las especies más abundantes de diatomeas en las estaciones de muestreo

El porcentaje de especies de dinoflagelados dominantes fueron *Ceratium furca* (16%), *Scrippsiella trochoidea* (9%) y *Protoperidinium pellucidum* (8%). Se determinó la presencia de *Prorocentrum micans*, especie productora de floraciones algales inocuas. (figura 18).



*Figura 18. Abundancia relativa (%) de las especies más abundantes de dinoflagelados en las estaciones de muestreo*

Las especies del grupo de los silicoflagelados presentaron una frecuencia homogénea en el total de las estaciones muestreadas.

Las mayores densidades de diatomeas se encontraron frente a las estaciones de Piura (M772-052) y Huacho (M772-024) con valores de  $197,3 \times 10^4 \text{ cel.m}^3^{-1}$  y  $104,3 \times 10^4 \text{ cel.m}^3^{-1}$  respectivamente. La menor concentración se encontró en la estación frente a Trujillo (M772-050) con valores de  $15,1 \times 10^3 \text{ cel/m}^3$  (figura 19).

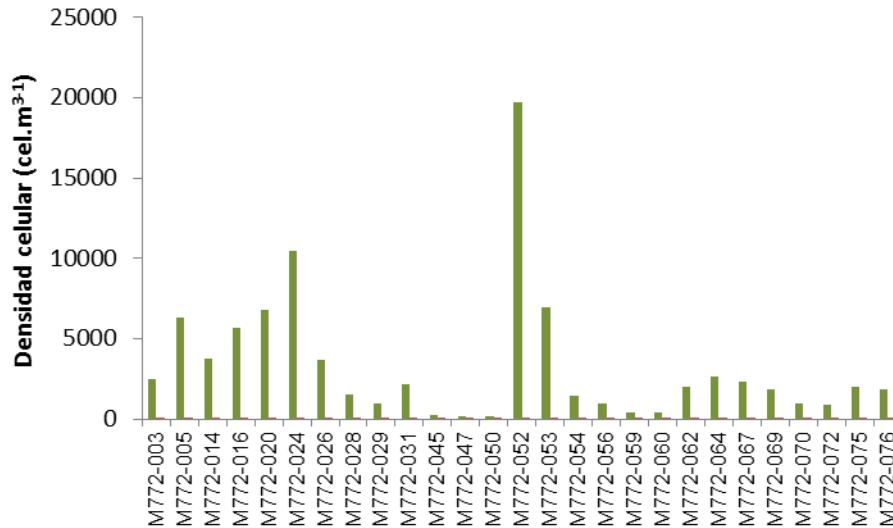


Figura 19. Variación de la densidad celular (cel.m<sup>3-1</sup>) de diatomeas en las estaciones de muestreo

La variación en la abundancia relativa (%) de especies de diatomeas en las estaciones de muestreo se muestra en la figura 20, presentando especies de mayor dominancia *Detonula pumila* (34,73%) *Eucampia zoodiacus*, (6,13%) y *Pseudonitzschia delicatissima* (6,17%).

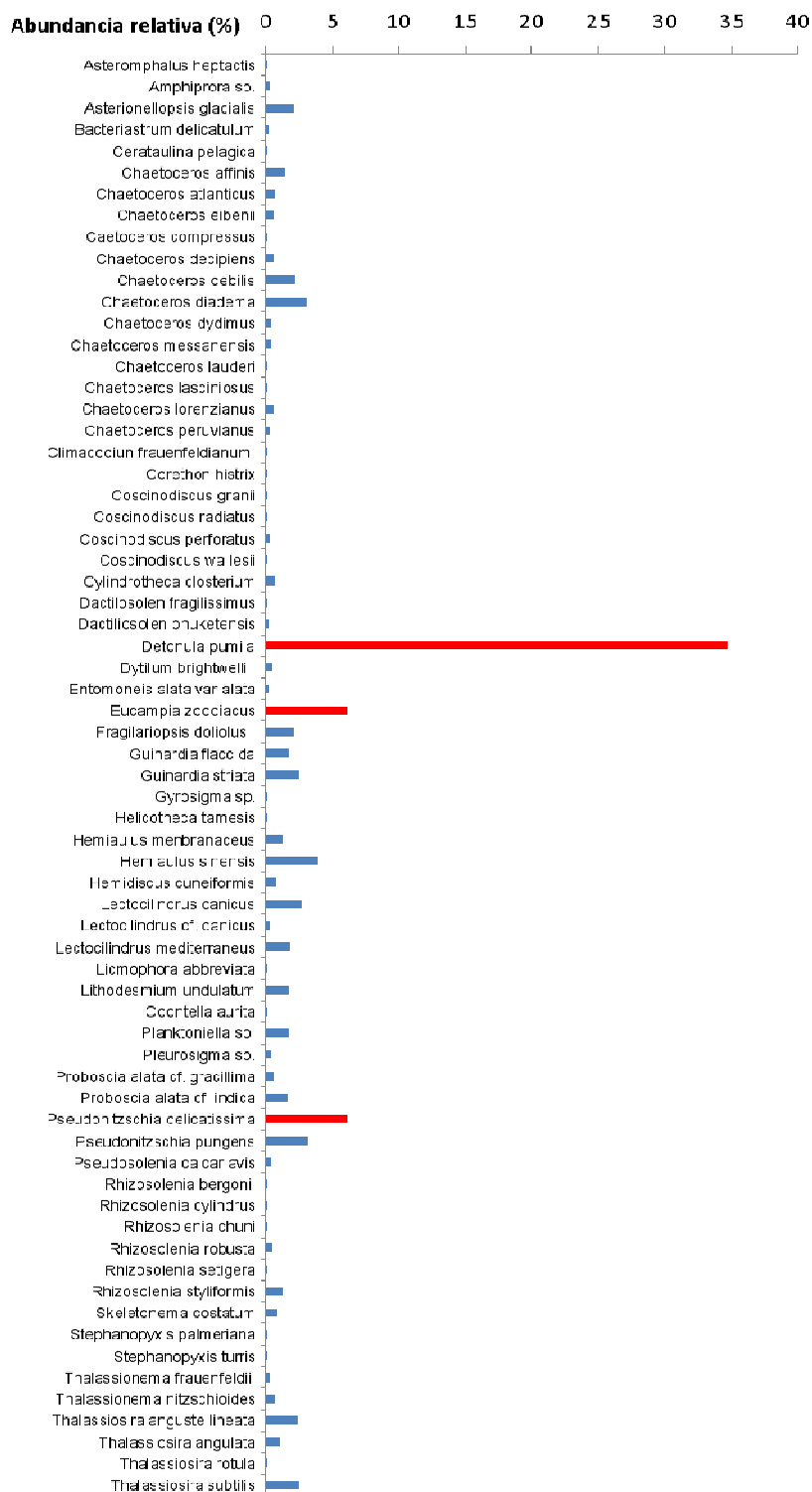


Figura 20. Variación de la abundancia relativa (%) de especies de diatomeas

Las mayores densidades de dinoflagelados se encontraron en las estaciones frente a Callao (M772.005), Supe (M772-020) y Huacho (M772-026) con valores de  $218,4 \times 10^3 \text{ cel.m}^3^{-1}$ ,  $200 \times 10^3 \text{ cel.m}^3^{-1}$ ,  $175,3 \times 10^3 \text{ cel.m}^3^{-1}$  respectivamente. La menor concentración se encontró en la estación frente a Trujillo (M772-047) con valores de  $40,1 \times 10^2 \text{ cel.m}^3^{-1}$  (figura 21).

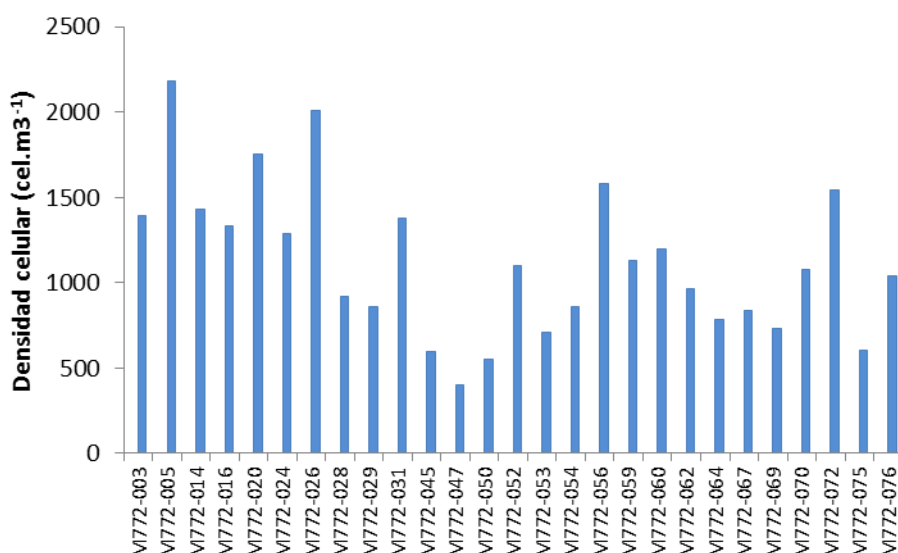


Figura 21. Variación de la densidad celular ( $\text{cel.m}^3^{-1}$ ) de especies de dinoflagelados en las estaciones de muestreo

La variación en la abundancia relativa (%) de especies de dinoflagelados en las estaciones de muestreo, se muestra en la figura 22, presentando especies de mayor dominancia *Ceratium furca* (15,72%), *Scrippsiella trochoidea* (9,26%) y *Protoperidinium pellucidum* (8,10%).



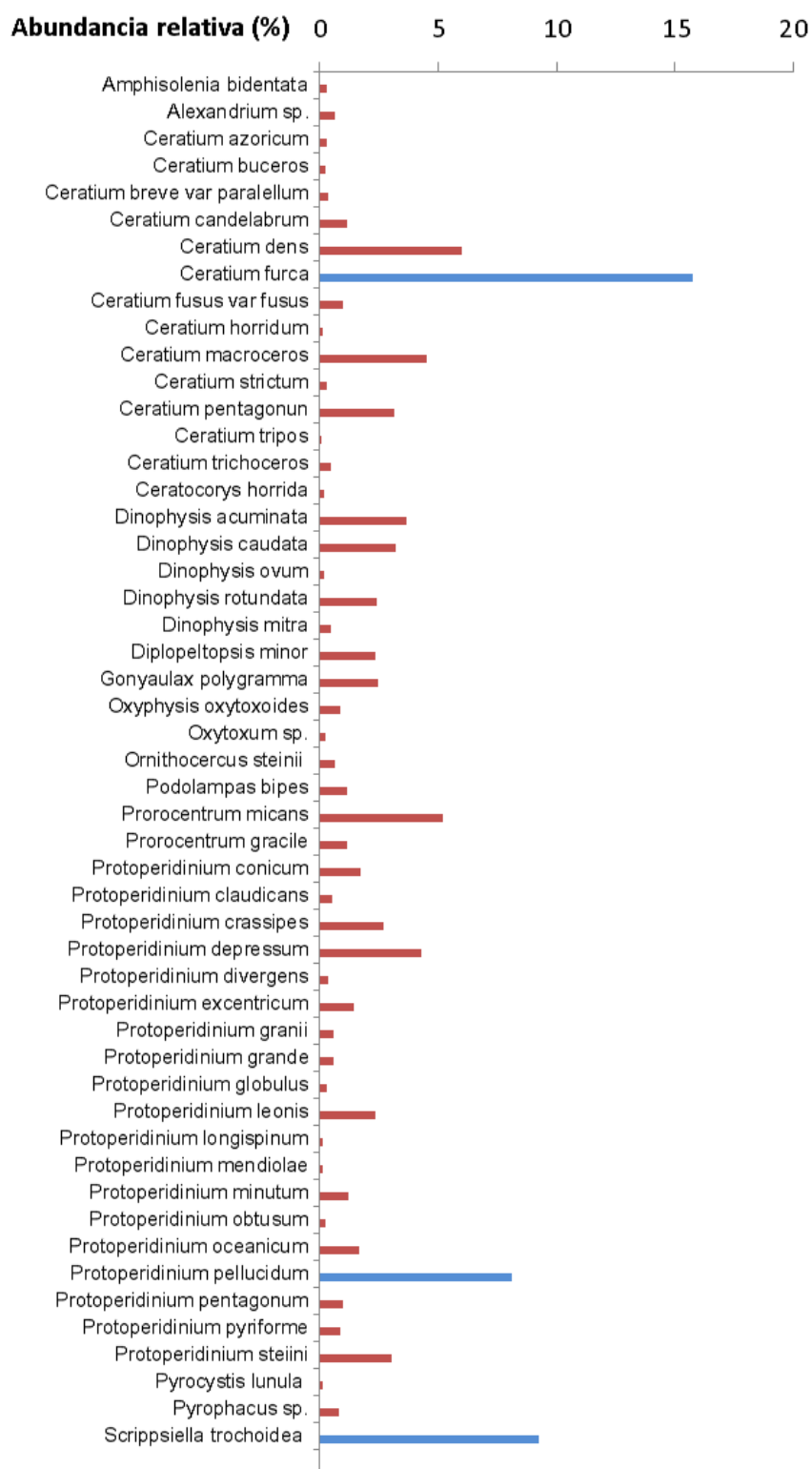


Figura 22. Variación de la abundancia relativa (%) de especies de dinoflagelados

Se confirmaron y determinaron algunos indicadores de las diferentes masas de agua frente al Perú y Ecuador, tales como *Protoperidinium obtusum*, indicador de Aguas Costeras Frías (ACF) determinado en las estaciones más costeras a lo largo de la costa peruana, coincidiendo principalmente con las áreas de surgencia; *Ceratium breve* var. *paralellum* y *Ornithocercus steinii*, indicadores de aguas ecuatoriales superficiales (AES) de altas temperaturas y bajas salinidades estuvieron presentes en las estaciones correspondiente a las zonas del norte entre Tumbes y Ecuador respectivamente y *Ceratocorys horrida*, *Amphisolenia bidentata*, *Ceratium trichoceros*, *Ceratium pentagonum* entre otros, indicadores de aguas cálidas en general presentes en las estaciones del norte del Perú.

El análisis de presencia-ausencia (anexo 5) muestra a las siguientes especies de diatomeas más frecuentes como *Planktoniella sol* (70%), *Fragillariopsis doliolus* (63%), *Proboscia alata cf indica* (59%), *Pseudonitzschia pungens* (63%), entre otras (figura 23). Entre las especies de dinoflagelados más frecuentes se encuentran *Scrippsiella trochoidea*. (76%), *Ceratium furca* (74%) *Protoperidinium depressum* (59%), *Protoperidinium micans* (56%), *Ceratium dens* (52%). *Protoperidinium pellucidum* (52%) y *Protoperidinium steinii* (52%) (figura 24).

Las especies *Dictyocha fibula* y *Octactis octonaria* presentan una frecuencia relativa del 100% en todas las estaciones de muestreo.

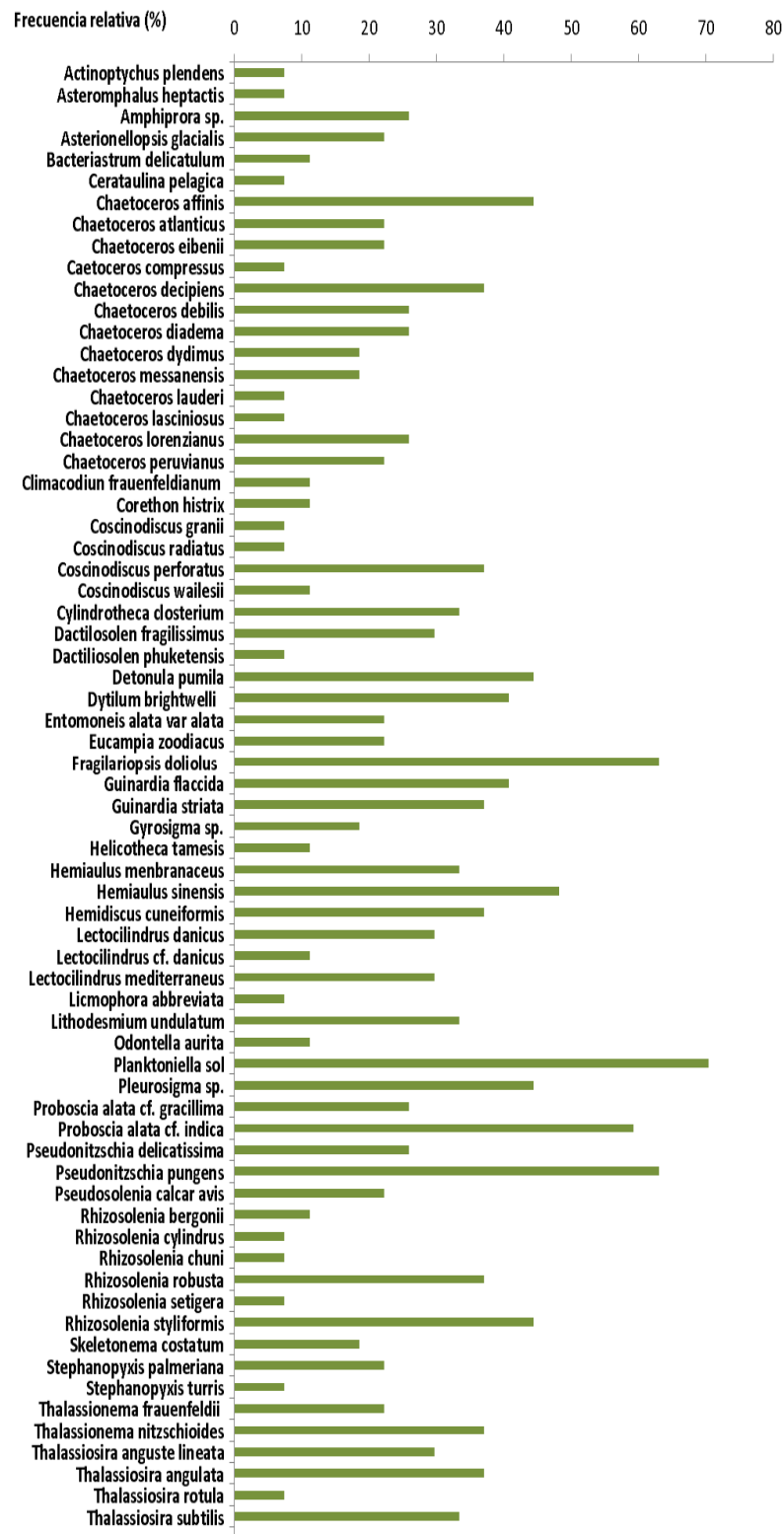


Figura 23. Variación de la frecuencia relativa (%) de especies de diatomeas

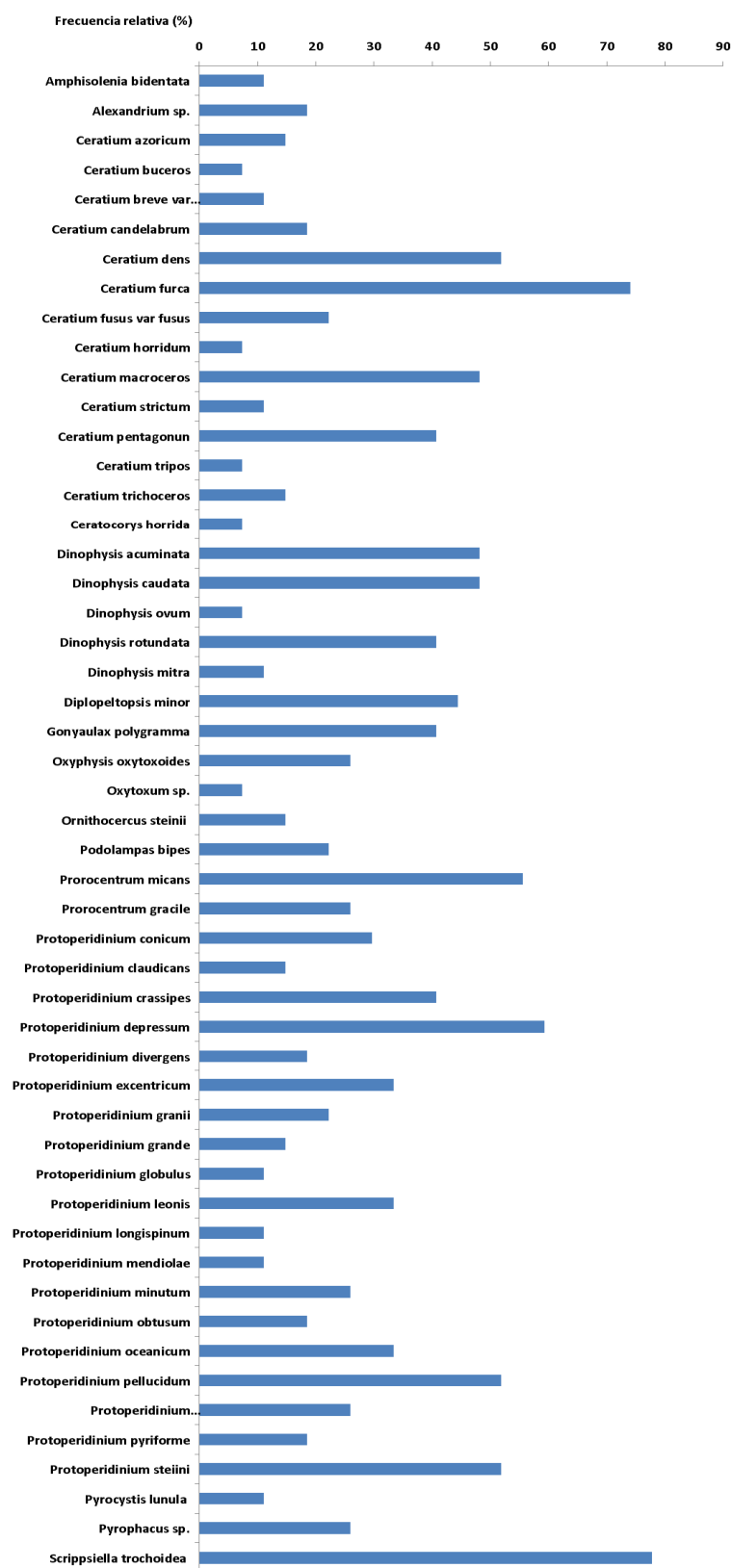
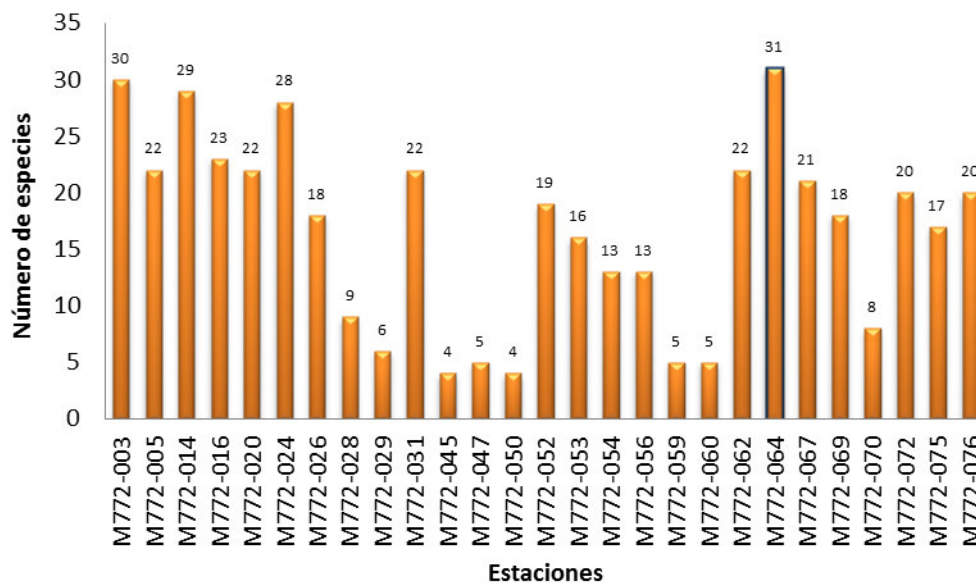


Figura 24. Variación de la frecuencia relativa (%) de especies de dinoflagelados

La riqueza de especies de diatomeas varió desde 4 a 31 especies. La estación M772-64 frente a Ecuador presentó el mayor número con 31 especies y las estaciones M772-045 y M772-050 frente a Trujillo, presentaron la menor riqueza con 4 especies (figura 25).



*Figura 25. Riqueza de especies de diatomeas por arrastre vertical en las estaciones de muestreo*

El análisis de agrupamiento, basado en datos de presencia-ausencia de especies, reveló las similitudes entre zonas geográficas cercanas. Los porcentajes de similitud entre estaciones fueron menores al 20%, (figura 26), de esta manera se agrupan a este nivel dos bloques de estaciones de muestreo M772-028, M772-029, M772-045, M772-047, M772-059, M772-54, M772-059, M772-060 y M772-070 y en otro bloque las demás estaciones. Las estaciones M772-067 y M722-076 presentan el mayor porcentaje de similitud con 65% de similaridad.

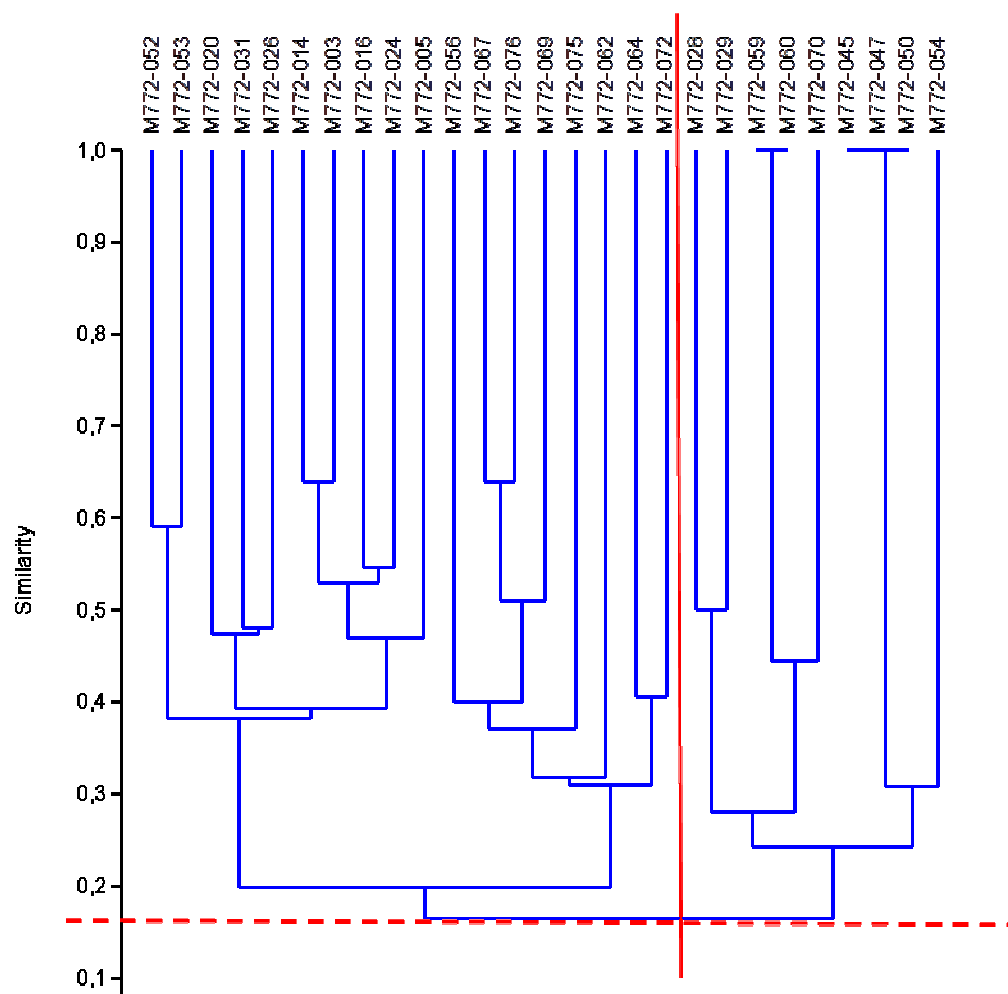
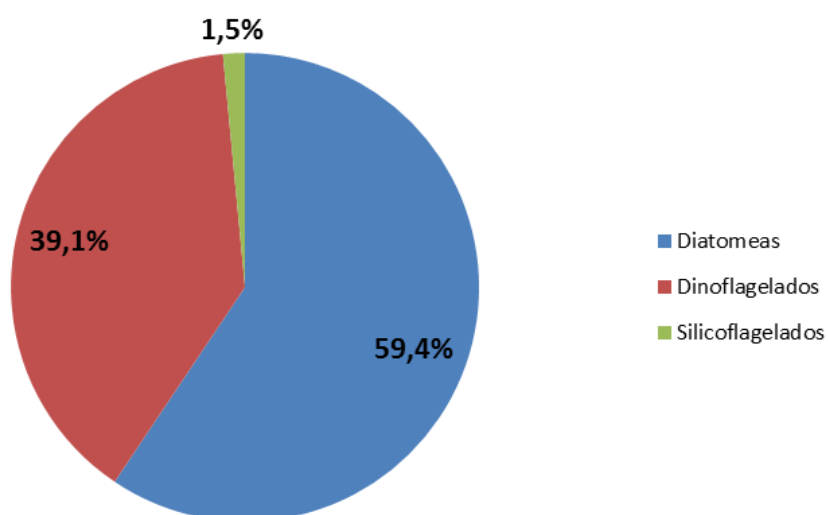


Figura 26. Dendrograma de similaridad (análisis cluster) de las estaciones de muestreo por arrastre vertical utilizando el índice de Jaccard

## **6.2.2. Análisis Cuantitativos en Columna de Agua**

### **6.2.2.1. Estructura comunitaria**

Se registraron un total de 133 especies identificadas a 0, 10, 15, 20, 25, 30, 40 y 50 metros de profundidad en las estaciones de muestro: 79 diatomeas, 52 dinoflagelados y 2 silicoflagelados. La abundancia se encuentra liderada por las diatomeas (59,4%), seguido de los dinoflagelados (39,1%) y en menor abundancia se encuentra el grupo de los silicoflagelados (1,5%) (figura 27).



*Figura 27. Porcentaje de grupos de fitoplancton colectadas en columna de agua en las estaciones de muestreo*

### 6.2.2.2. Distribución vertical

La distribución vertical muestra que las mayores abundancias se presentan principalmente entre los 5 y 20 metros de profundidad, alcanzando en algunas áreas hasta la superficie y en otras hasta los 40 metros (tabla12).

Tabla 12. Densidad total de diatomeas ( $\text{cel.L}^{-1}$ ) en las estaciones de muestreo en columna de agua a diferentes profundidades

Estación	Lat. (S°)	Profundidad							
		5m	10m	15m	20m	25m	30m	40m	50m
M772-005	-12,09	134680	2380	6040	4800	180	4040	11140	5880
M772-022	-10,5	-	340	-	1460	-	-	-	-
M772-028	-9,2	5140	2720	2200	380	520	200	100	60
M772-045	-8	40	60	60	60	40	60	40	80
M772-054	-5,4	5660	240	40	80	-	80	1060	-
M772-056	-3,7	80	280	1060	180	40	40	-	-
M772-057	-3,4	240	1100	540	40	-	20	300	-
M772-059	-3,9	160	80	60	120	-	1560	1700	-
M772-062	-2,5	6100	-	2170	-	740	-	-	-
M772-064	-1,8	480	-	-	-	-	-	-	-
M772-069	-3,2	1040	-	-	-	-	-	-	-
M772-070	-3,1	2420	-	-	-	-	-	-	-
M772-072	-2,8	140	-	-	-	-	-	-	-
M772-075	0,2	820	-	-	-	-	-	-	-
M772-076	0,09	500	-	-	-	-	-	-	-
<b>TOTAL</b>		<b>157500</b>	<b>7200</b>	<b>12170</b>	<b>7120</b>	<b>1520</b>	<b>6000</b>	<b>14340</b>	<b>6020</b>

(-)Muestras no fueron tomadas

Las mayores concentraciones del total de fitoplancton se encuentra en las profundidades de 5m de con más de  $157 \times 10^3 \text{ cel.L}^{-1}$ , de 10m con  $7200 \text{ cel.L}^{-1}$  y 15m con  $121 \times 10^2 \text{ cel.L}^{-1}$  (figura 28).

En las estaciones frente a Piura, Tumbes y Ecuador el grupo dominante es el de los coccolitofóridos entre los 10 a 30 metros de profundidad con la predominancia de *Emiliana huxleyi*. Los fitoflagelados son abundantes de 5 a 15 m.



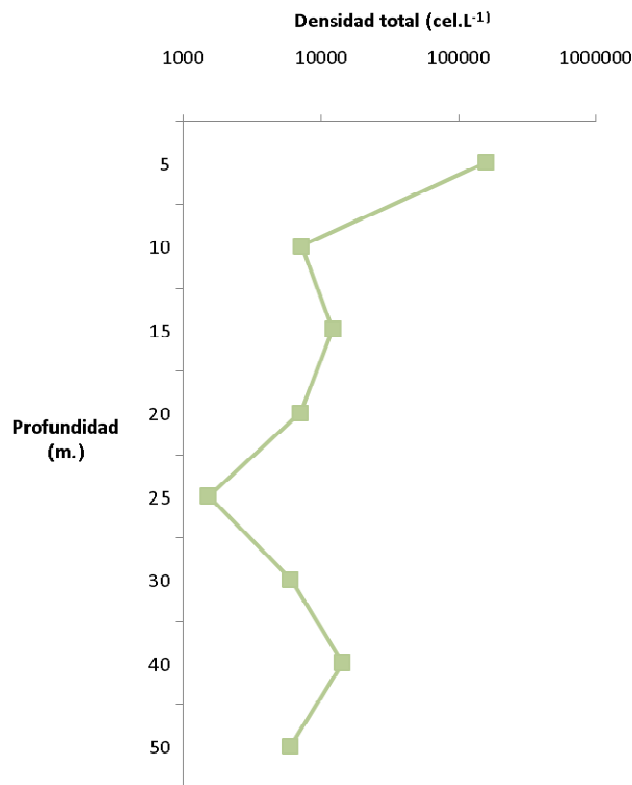


Figura 28. Densidad total de fitoplancton (cel.L<sup>-1</sup>) a diferentes profundidades

A 5 metros se registraron los máximos valores de  $13,4 \times 10^4$  cel.L<sup>-1</sup> frente a Pisco (M772-005),  $5,1 \times 10^2$  cel.L<sup>-1</sup> frente a Chimbote (M772-028)  $5,6 \times 10^2$  cel.L<sup>-1</sup> frente a Piura (M772-054) y  $6,1 \times 10^2$  cel.L<sup>-1</sup> frente a Ecuador (M772-062), así mismo las menores densidades se encontraron en las estaciones de Trujillo (M772-045) y Tumbes (M772-056) con 40 cel.L<sup>-1</sup> y 80 cel.L<sup>-1</sup> respectivamente.

Por lo general la concentración disminuyó notoriamente a los 30 y 50 metros de profundidad a excepción de las estaciones de Pisco, Piura y Tumbes que presentan densidades altas a los 40m con  $11,1 \times 10^3$  cel.L<sup>-1</sup>, 1060 cel.L<sup>-1</sup> y 1700 cel.L<sup>-1</sup> respectivamente (figura 29).

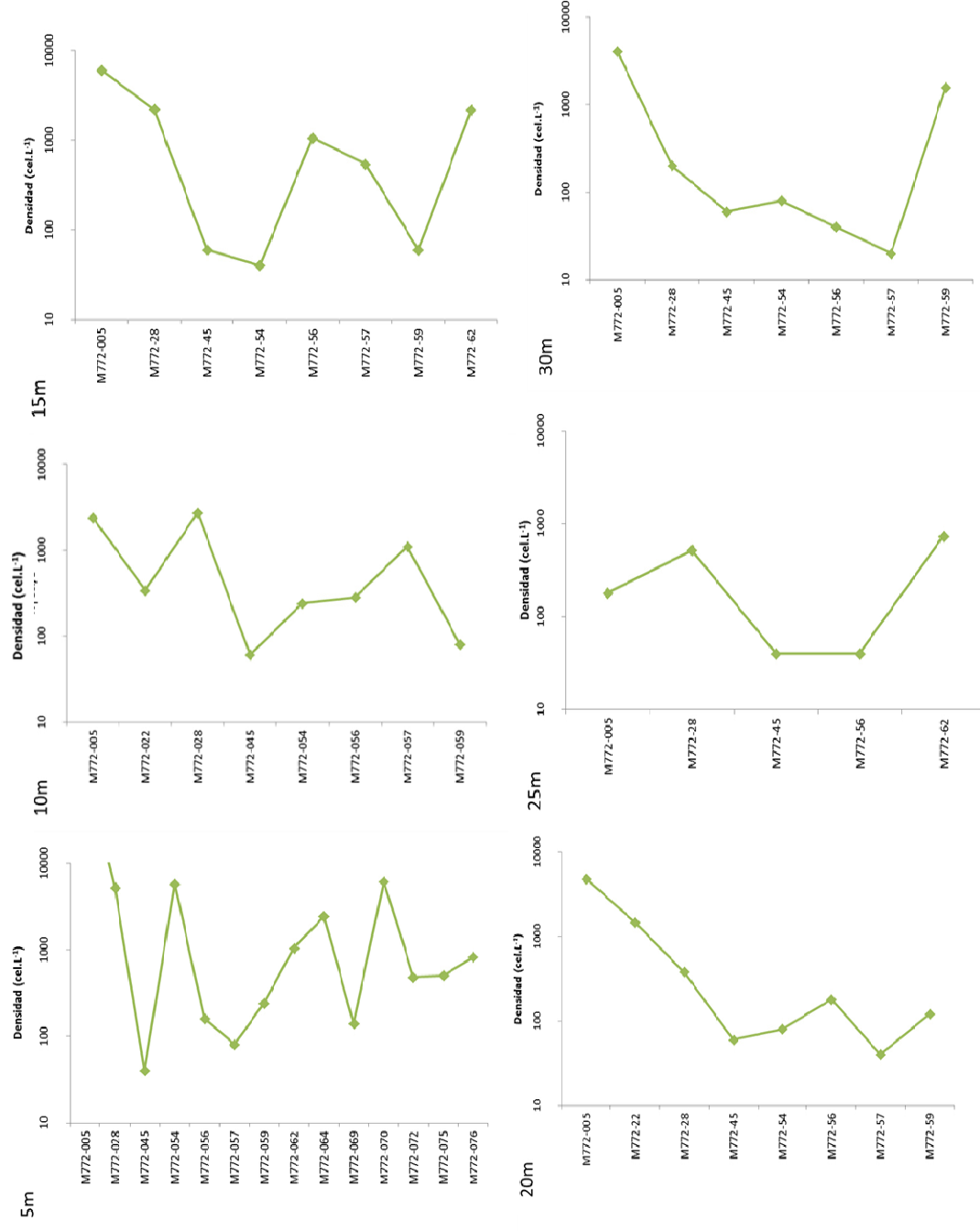


Figura 29. Variación de la densidad de fitoplancton (cel.L<sup>-1</sup>) a diferentes profundidades en las estaciones de muestreo

A 5m se observa la predominancia de *Navicula sp* y *Pseudonitzschia delicatissima*, a 10m *Pseudonitzschia delicatissima*, *Chaetoceros affinis* y *Entomoneis alata* var *alata*. A 25m de profundidad existe predominancia de diatomeas pennales, así como de *Lectocylindrus mediterraneus* y *Pseudonitzschia delicatissima*, a 20m y a 15m predomina *Pseudonitzschia delicatissima*, *Navicula sp.* y diatomeas pennales. (lámina 6 y 7).

A 40m hay predominancia de *Chaetoceros socialis*, *Chaetoceros diadema*, *Coscinodiscus perforatus* y diatomeas pennales. A 30m predomina *Chaetoceros diadema* y diatomeas pennales.

A la profundidad de 50m, las mayores abundancias están representadas por *Chaetoceros affinis*, *Detonula pumila* y *Navicula sp.* (anexo 6).

### 6.3. Fitoplancton silíceo en Sedimento Superficial

#### 6.3.1. Análisis Cualitativo

El análisis se realizó en el sedimento superficial obtenido de las estaciones de muestreo a profundidades que varían desde los 59 m hasta los 2607m. Se identificó un total de 48 especies: 45 diatomeas y 3 silicoflagelados.

En el sedimento superficial el grupo dominante fueron las diatomeas con el 89% seguida de la categoría “otros” (8%) que incluye otros organismos silíceos como radiolarios y espículas de esponjas, los silicoflagelados representaron solo un 3% (figura 30).

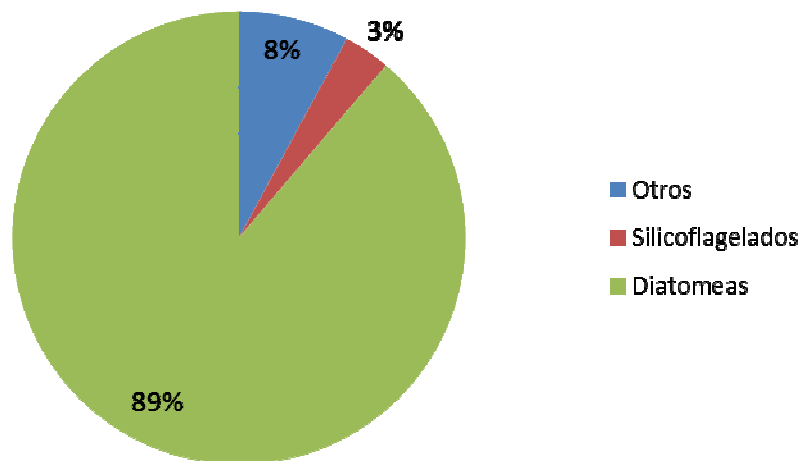


Figura 30. Porcentaje de grupos de fitoplancton en sedimento superficial

La abundancia total por estaciones (%) en sedimento superficial presentó especies dominantes como *Thalassionema nitzschioides* var *nitzschioides* (35,2%), *Thalassionema nitzschioides* var *parva* (9,9%), *Cyclotella striata* (5%) Espículas de esponjas (6,7) y esporas de *Chaetoceros* sp. (5,8%) (anexo 7).

La abundancia por especie (%) presenta especies abundantes y dominantes en la mayoría de estaciones de muestreo tales como *Thalassionema nitzschioides* var *nitzschioides* (58,8%) domina en el sedimento en la estación M772-050 frente a Trujillo. Las esporas de *Chaetoceros* sp. (25,51%) (lámina 9) son el segundo conjunto de especies dominantes con mayores abundancias en la estación M772-031 frente a Chimbote, *Thalassionema nitzschioides* var *parva* (64,57%), domina en la estación M772-059 frente a Tumbes y *Cyclotella striata* (13,57%) abundante en la estación M772-052 frente a Piura (anexo 8).

La riqueza de especies fluctúa entre 5 y 27 especies, el mayor número de especies se encontró en las estaciones M772-002 (Pisco) y M772-22 (Huacho) con 27 especies, y las menores riquezas en las estaciones M772-050 (Trujillo), M772-056 (Tumbes) con 6 especies respectivamente y M772-026 (Huacho) con 5 especies. (figura 31).

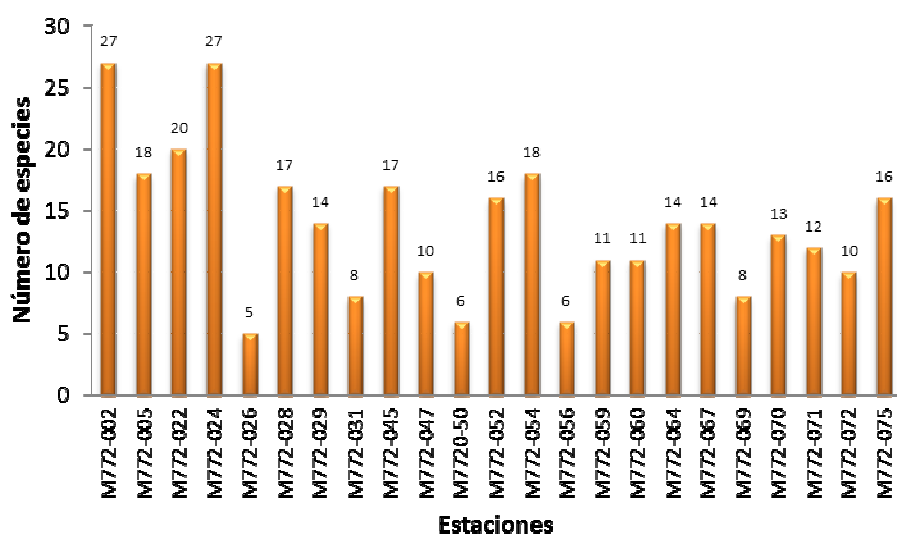


Figura 31. Riqueza de especies en sedimento superficial en las estaciones de muestreo

### 6.3.2. Análisis cuantitativo

Las mayores concentraciones de valvas.g<sup>-1</sup> de sedimento seco fueron encontradas en las estación M772-002 (88,02 x10<sup>6</sup> valvas.g<sup>-1</sup>) frente a Pisco y M772-005 (57,34 x10<sup>6</sup> valvas.g<sup>-1</sup>) frente a Callao, las menores concentraciones se encontraron en las estaciones de Ecuador (figura 32).

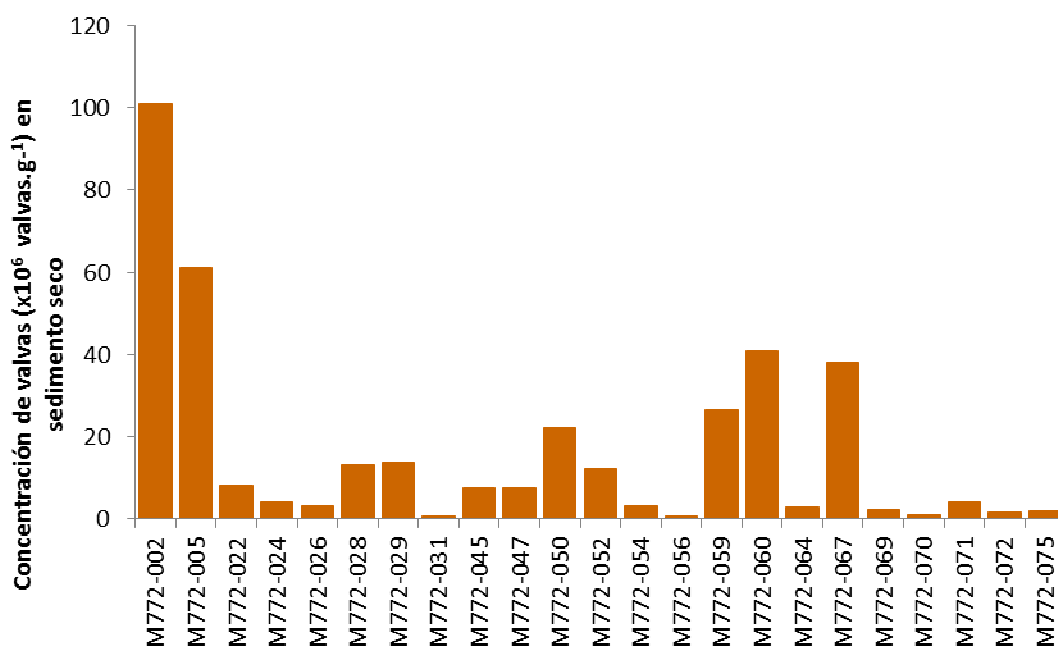
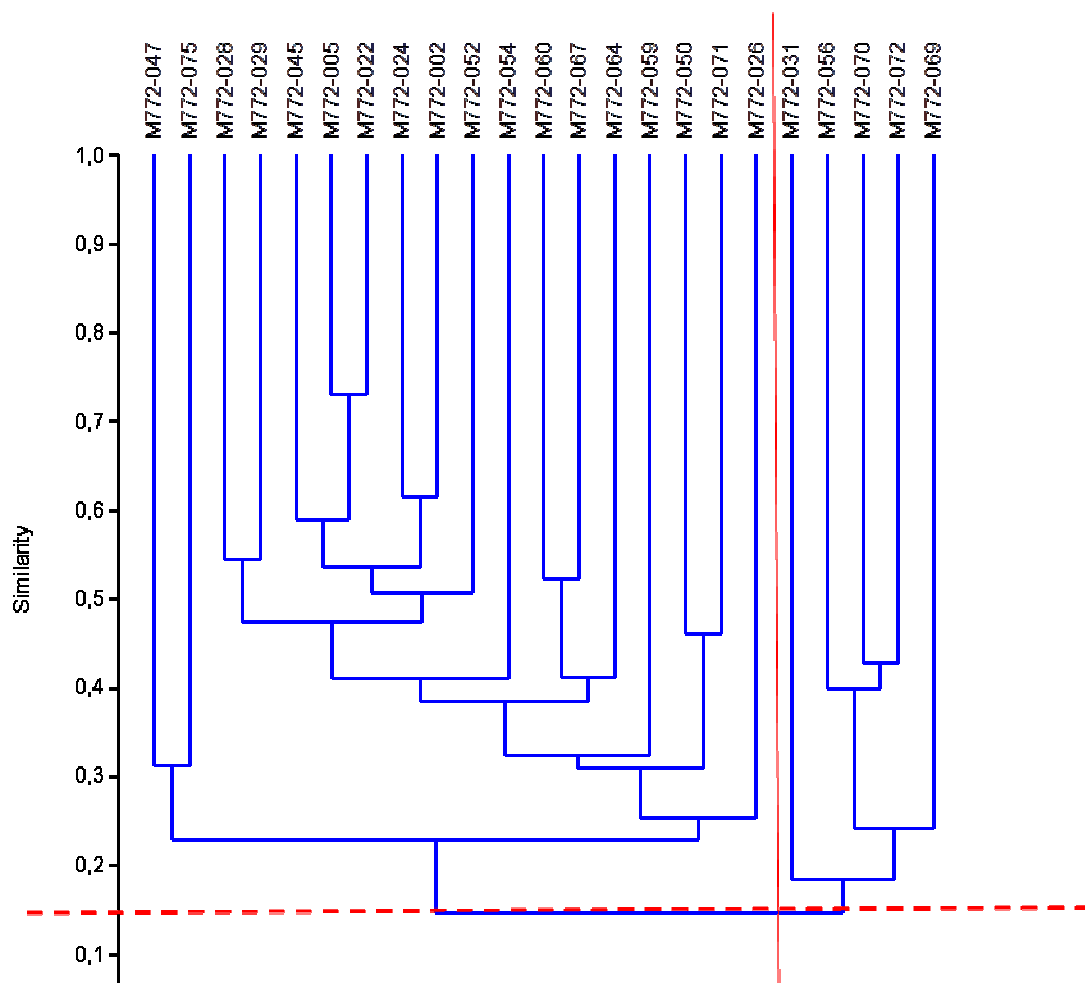


Figura 32. Concentración de valvas x10<sup>6</sup> (valvas.g<sup>-1</sup>) en sedimento seco en las estaciones de muestreo

Las mayores abundancias relativas están representadas por las especies *Thalassionema nitzschoides* var *nitzschoides* (31,6), *Cyclotella striata* (7,4%) *Thalassionema nitzschoides* var *parva* (5,6%) (Lámina 8) (anexo 10).

El análisis de agrupamiento, basado en datos de presencia-ausencia de especies, reveló las similitudes entre zonas geográficas cercanas. Los porcentajes de similitud entre estaciones fueron menores al 20 % (figura 33) de esta manera, se agrupan a este nivel dos bloques de estaciones de muestreo M772-031, M772-056, M772-069, M772-070, M772-072, estaciones de bajas latitudes entre Tumbes y Ecuador y en otro bloque las demás estaciones. Las estaciones M772-005 y M772-022 presentan el mayor porcentaje de similitud con 75% de similaridad.



*Figura 33. Dendrograma de similaridad (análisis cluster) de las estaciones muestreadas en sedimento superficial utilizando el índice de Jaccard*

## 6.4 Diversidad y Dominancia

- *Columna de agua*

El análisis de diversidad, equidad y dominancia se presenta en la tabla 13. En la estación M772-003 frente a Pisco se encontró la mayor diversidad con 3,062 bits.cel<sup>-1</sup> seguida por la estación M772-064 frente al Ecuador con 3,060 bits.cel<sup>-1</sup>, la menor diversidad se registró en la estación M772-052 frente a Piura con 0,740 bits.cel<sup>-1</sup> (figura 34).



Tabla 13. Densidad de individuos ( $\text{cel.m}^{-3}$ ), riqueza de especies ( $S$ ), Diversidad de Shannon ( $H'$ ), dominancia de Simpson ( $D'$ ) y equidad de Pielou ( $J'$ ), en las estaciones de muestreo por arrastre vertical

Estaciones	Riqueza ( $S$ )	Densidad ( $\text{N}^{\circ}\text{Cél/m}^3$ )	Dominancia	Simpson (1-D)	Shannon-Wiener ( $H'$ )	Pielou ( $J'$ )
M772-003	30	258008	0,062	0,938	3,062	0,900
M772-005	22	639486	0,415	0,585	1,564	0,506
M772-014	29	382063	0,137	0,863	2,475	0,735
M772-016	23	577169	0,270	0,730	1,826	0,582
M772-020	22	695401	0,250	0,750	1,886	0,610
M772-024	28	1056493	0,111	0,889	2,540	0,762
M772-026	18	379732	0,426	0,574	1,518	0,525
M772-028	9	163657	0,249	0,751	1,751	0,797
M772-029	6	104252	0,236	0,764	1,573	0,878
M772-031	22	244615	0,110	0,890	2,654	0,859
M772-045	4	32032	0,287	0,713	1,310	0,945
M772-047	4	28537	0,297	0,703	1,288	0,929
M772-050	4	22714	0,282	0,718	1,319	0,951
M772-052	19	1980197	0,718	0,282	0,740	0,251
M772-053	16	697146	0,619	0,381	1,007	0,363
M772-054	13	158998	0,188	0,812	2,033	0,793
M772-056	13	103086	0,091	0,909	2,456	0,958
M772-059	5	50670	0,292	0,708	1,406	0,873
M772-060	5	50088	0,270	0,730	1,423	0,884
M772-062	22	208503	0,065	0,935	2,876	0,931
M772-064	32	268487	0,069	0,931	3,060	0,883
M772-067	21	237041	0,184	0,816	2,182	0,717
M772-069	18	191031	0,070	0,930	2,770	0,959
M772-070	8	103087	0,158	0,842	1,904	0,916
M772-072	20	94350	0,238	0,762	2,037	0,680
M772-075	17	206754	0,075	0,925	2,691	0,950
M772-076	20	195689	0,178	0,822	2,199	0,734

Los valores máximos de equidad de Pielou se registraron en la estación M772-069 frente a Ecuador con 0,959 y los menores en la estación M772-052 frente a Piura con 0,251 (figura 34).

La mayor dominancia 0,938 se registró en la estación M772-003 frente a Pisco, siendo las especies *Detonula pumila* y *Pseudonitzschia delicatissima* las que dominaron la comunidad fitoplanctónica (figura 34).

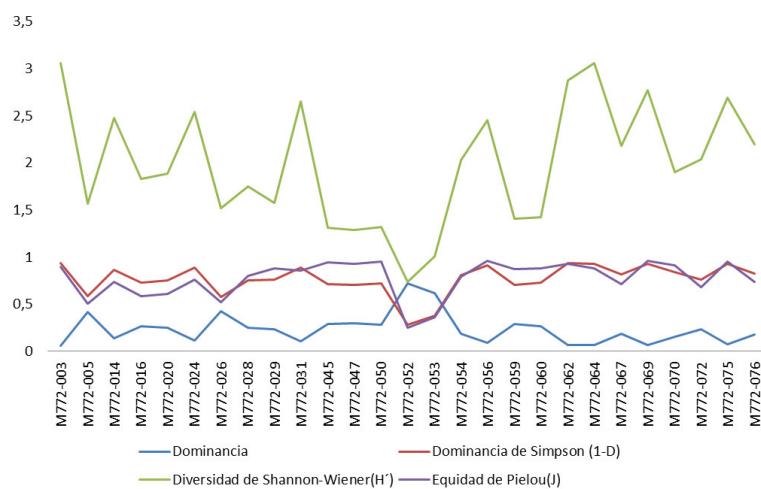


Figura 34. Índices comunitarios Dominancia, Diversidad de Shannon ( $H'$ ), dominancia de Simpson ( $D'$ ) y equidad de Pielou ( $J'$ ), para las estaciones de muestreo por arrastre vertical

- **Sedimento Superficial**

El análisis de diversidad, equidad y dominancia para los resultados en sedimentos superficiales se presentan en la tabla 14. En la estación M772-002 frente a Pisco se encontró la mayor diversidad con 2,997 bits.cel<sup>-1</sup> seguida por la estación M772-024 frente al Huacho con 2,900 bits.cel<sup>-1</sup>, La menor diversidad se registró en la estación M772-069 frente a Ecuador con 0,629 bits.cel<sup>-1</sup> (figura 35).

Tabla 14. Densidad de individuos (valvas.g<sup>-1</sup>), riqueza de especies (S), Diversidad de Shannon (H'), dominancia de Simpson (D') y equidad de Pielou (J'), en las estaciones de muestreo en sedimento superficial

Estaciones	Riqueza (S)	Densidad	Dominancia	Simpson (1-D)	Shannon-Wiener (H')	Pielou (J)
M772-002	32	1196	0,087	0,913	2,977	0,859
M772-005	24	1548	0,131	0,869	2,548	0,802
M772-022	21	540	0,146	0,854	2,438	0,801
M772-024	31	543	0,086	0,915	2,900	0,844
M772-026	8	448	0,211	0,789	1,710	0,823
M772-028	18	431	0,196	0,804	2,155	0,745
M772-029	16	483	0,191	0,809	2,190	0,790
M772-031	3	326	0,334	0,667	1,098	1,000
M772-045	18	514	0,165	0,835	2,238	0,775
M772-047	11	524	0,170	0,830	2,030	0,847
M772-050	8	803	0,179	0,822	1,879	0,904
M772-052	19	782	0,142	0,858	2,341	0,795
M772-054	19	822	0,157	0,843	2,227	0,756
M772-056	2	133	0,535	0,465	0,658	0,950
M772-059	10	439	0,345	0,655	1,546	0,671
M772-060	16	678	0,133	0,868	2,278	0,822
M772-064	15	406	0,170	0,830	2,100	0,775
M772-067	17	1253	0,127	0,873	2,294	0,810
M772-069	3	290	0,670	0,330	0,624	0,568
M772-070	5	312	0,439	0,561	0,957	0,594
M772-071	11	1111	0,133	0,867	2,202	0,918
M772-072	5	446	0,206	0,794	1,593	0,990
M772-075	12	251	0,263	0,737	1,726	0,695

Los valores máximos de equidad de Pielou se registraron en la estación M772-031 frente a Chimbote con 1 y los menores en la estación M772-069 frente a Ecuador con 0,568 (figura 35).

La mayor dominancia 0,913 se registró en la estación M772-002 frente a Pisco, siendo la especie *Thalassionema nitzschioides* var *nitzschioides* la especie dominante la comunidad fitoplanctónica (figura 35).

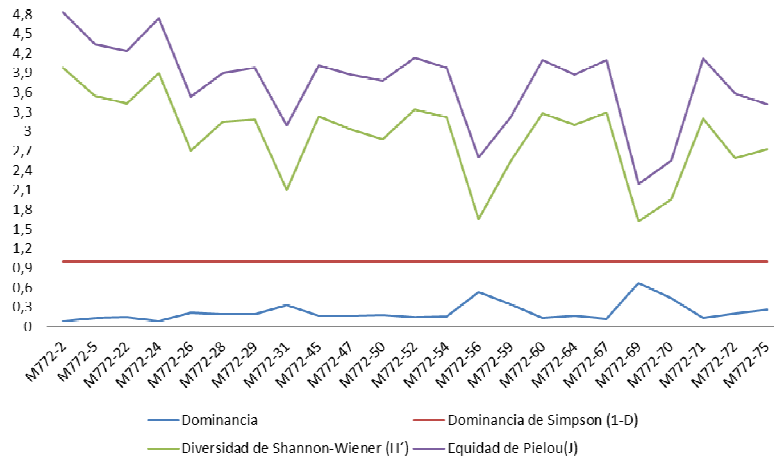


Figura 35. Índices comunitarios Dominancia, Diversidad de Shannon ( $H'$ ), dominancia de Simpson ( $D'$ ) y equidad de Pielou ( $J'$ ), para las estaciones de muestreo en sedimento superficial

## 6.5. Relación entre columna de agua y sedimento superficial

### 6.5.1 Disolución y Preservación

#### 6.5.1.1. Columna de agua

Los análisis de las muestras colectadas en la columna de agua a diferentes profundidades (5, 10, 15, 20, 25, 30, y 40 m.) presentaron una comunidad fitoplanctónica con buena preservación, conformada en su mayoría por células vivas (presencia de cloroplastos) y en menor observación de células muertas.

En las profundidades de 5m a 30m se observa que la integridad de las especies de diatomeas a estos niveles es mayor, encontrándose en su mayoría células con una buena preservación, presentado frústulos enteros y características taxonómicas reconocibles.

Por el contrario, a partir de los 30m de profundidad, se presenta una reducción en la abundancia de especies ya que en la mayoría de ellas los frústulos han perdido sus cloroplastos, observándose una mayor cantidad de células muertas que células vivas.

#### **6.5.1.2. Sedimento superficial**

Se realizó análisis de preservación en las muestras de sedimentos tratadas con el método de destrucción de materia orgánica, las estaciones M772-002 (Pisco) y M772 - 005 (Callao) presentaron una mejor preservación entre los sitios muestreados. En estas estaciones de Pisco y Callao, se encontraron presencia de células no fragmentadas con muy poca disolución encontrándose incluso a *Skeletonema costatum* que es una especie débilmente silificada.

El grado de preservación en las estaciones de muestreo fue de moderada a buena, presentándose valvas preservadas donde se observaron claramente sus características taxonómicas respectivas (tabla 15). Las estaciones con mayor porcentaje de valvas de diatomeas fue Pisco (M772-005) con 25,2% seguido de la estación frente a Callao (M772-005) con 16,4%. El grado de disolución de las especies encontradas dominantes es de especies ligeramente resistentes a la disolución, seguido de las especies de fácil disolución y de las especies con resistencia a la disolución (figura 36).

*Tabla 15. Abundancia de valvas de diatomeas (%) y grado de preservación en sedimento superficial (Bueno=G y Moderado=M) en las estaciones de muestreo*

Estaciones	Valvas Diatomeas (%)	Preservación
M772-002	25,2	G
M772-005	16,4	G
M772-022	2,2	M
M772-024	1,1	M
M772-026	0,7	M
M772-028	3,6	G
M772-029	3,8	M
M772-031	0,2	M
M772-045	2,2	G
M772-047	2,2	M
M772-050	6,4	M
M772-052	3,4	G
M772-054	0,8	G
M772-056	0,2	M
M772-059	7,5	G
M772-060	9,6	G
M772-064	0,8	M
M772-067	10,6	M
M772-069	0,6	M
M772-070	0,3	M
M772-071	1,2	M
M772-072	0,5	M
M772-075	0,6	M

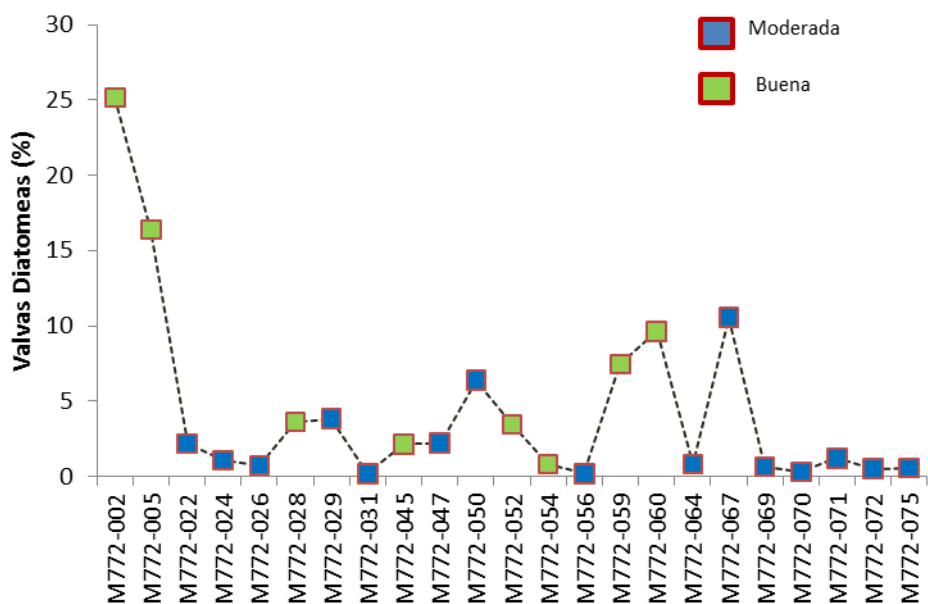


Figura 36. Abundancia de valvas de diatomeas (%) y grado de preservación en sedimento superficial en las estaciones de muestreo.

La abundancia relativa en porcentaje por especies de diatomeas encontradas en sedimento superficial varía entre resistentes, ligeramente resistentes y de fácil disolución (tabla 16). La especie más abundante es *Thalassionema nitzschioides var nitzschioides* que representa el 31,6% y presenta resistencia a la disolución. (figura 38).

Tabla 16. Abundancia relativa (%) de valvas de diatomeas y grado de disolución en sedimento superficial. (Resistentes a la disolución=A, ligeramente resistentes a la disolución=B y de fácil disolución=C).

Especies	Abundancia relativa (%)	Grado disolución
<i>Actinocyclus octonarius</i>	1,10	A
<i>Asteromphalus flabellatus</i>	0,08	B
<i>Azpeitia tabularis</i>	0,16	A
<i>Azpeitia nodulifer</i>	0,44	A
<i>Azpeitia</i> sp.	0,08	A
<i>Actinocyclus octonarius</i> var. <i>tenella</i>	0,14	B
<i>Actinoptychus plendens</i>	0,89	B
<i>Actinoptychus vulgaris</i>	0,04	B
<i>Actinoptychus quinarius</i>	0,15	B
<i>Actinoptychus senarius</i>	2,58	B
<i>Biddulphia alternans</i>	0,45	C
<i>Coscinodiscus perforatus</i>	1,33	B
<i>Coscinodiscus. oculus iris</i>	0,48	B
<i>Coscinodiscus</i> sp.	0,39	B
<i>Cyclotella striata</i>	7,49	B
<i>Delphineis surirella</i>	3,19	C
<i>Delphineis</i> sp.	0,39	C
<i>Enthomoneis alata</i> var. <i>alata</i>	0,04	C
Espora <i>Chaetoceros</i> sp.	4,28	A
<i>Fragillariopsis doliollus</i>	4,86	B
<i>Grammatophora marina</i>	0,40	C
<i>Hemidiscus cuneiformis</i>	0,69	C
<i>Navicula</i> sp.	0,18	C
<i>Odontella langicruris</i>	0,15	C
<i>Odontella aurita</i>	0,20	C
<i>Lithodesmium undulatum</i>	0,50	C
<i>Lectocylindrus danicus</i>	0,08	C
<i>Proboscia alata</i> var. <i>alata</i>	1,00	B
<i>Pseudonitzschia pungens</i>	4,12	B
<i>Roperia tessellata</i>	2,65	A
<i>Rhizosolenia styliformis</i>	1,49	B
<i>Rhizosolenia hebetata</i>	1,46	B
<i>Rhizosolenia acuminata</i>	0,25	B
<i>Rhizosolenia bergonii</i>	4,27	B
<i>Skeletonema costatum</i>	0,85	C
<i>Thalassionema nitzschioides</i> var. <i>nitzschioides</i>	31,66	A
<i>Thalassionema nitzschioides</i> var. <i>parva</i>	5,69	A
<i>Thalassionema bacillare</i>	1,67	B
<i>Thalassiosira</i> sp.	1,35	B
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	1,18	B
<i>Thalassiosira anguste - lineata</i>	1,25	B
<i>Thalassiosira. angulata</i>	1,22	B
<i>Thalassiosira rotula</i>	4,19	B
<i>Dictyocha fibula</i>	1,07	B
<i>Dictyocha messamessi</i>	2,10	B
<i>Distephanus octonarius</i>	1,75	B



La descripción cualitativa de los sedimentos superficiales en los frotis de sedimento (*Smear slides*) se observan en la Tabla 17. En las estaciones frente a Pisco y Callao presentaron abundantes restos biogénicos con la presencia de diatomeas del orden centrales y pennales tanto enteras como fragmentadas, restos de radiolarios y silicoflagelados así como espículas de esponjas y restos de zooplancton, presentan además abundante materia orgánica y se observa abundancia de cuarzos y arcilla.

Frente a Huacho se evidenció pocos restos biogénicos, con presencia de diatomeas fragmentadas y algunos radiolarios fragmentados con predominancia de materia orgánica marrón y abundantes minerales de cuarzo.

En Chimbote se observó muy pocos restos biogénicos con abundante materia orgánica de coloración marrón con presencia de cuarzos y minerales fosfáticos.

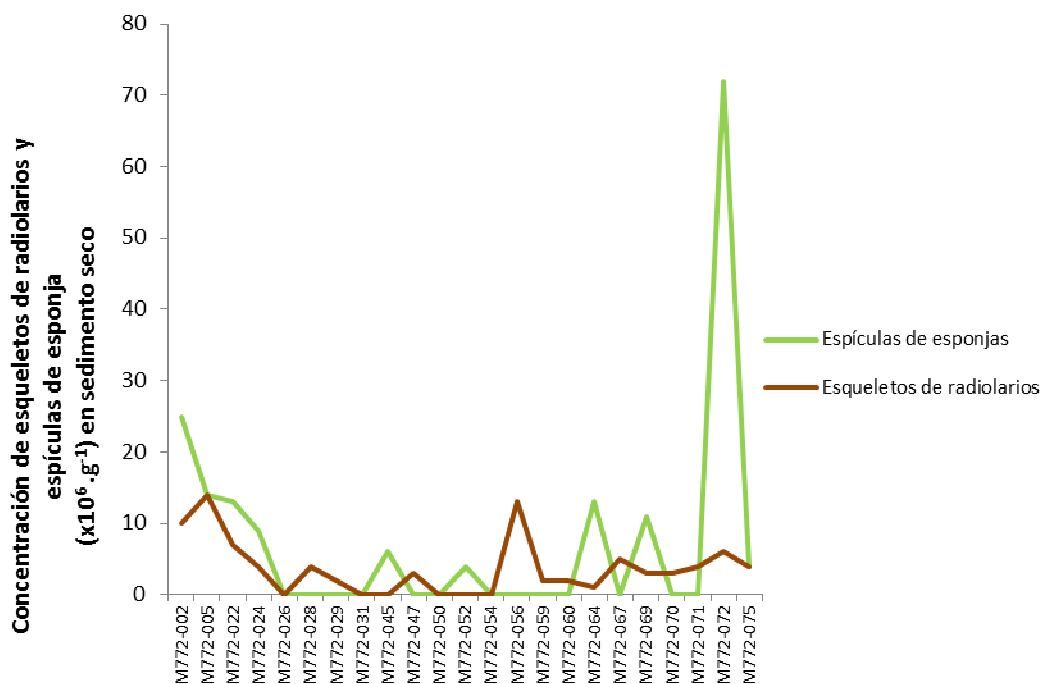
En Trujillo se presentaron pocos restos biogénicos con fragmentos de diatomeas centrales, radiolarios y silicoflagelados predomina la materia orgánica dispersa y hay pocos restos minerales.

Frente a Piura se observaron muy pocos restos biogénicos con presencia de algunos pocos fragmentos de diatomeas centrales, radiolarios, silicoflagelados y espículas de esponja con bajo contenido de materia orgánica dispersa con presencia de cuarzos y minerales fosfáticos.

En Tumbes predominaron abundantes restos biogénicos especialmente diatomeas centrales y pennadas (fragmentadas y enteras) algunos radiolarios, restos de silicoflagelados, zooplancton y espículas de esponja, existe abundante materia orgánica así como abundante cuarzo y minerales fosfáticos.

Frente a las estaciones del Ecuador se notó la poca cantidad de restos biogénicos con presencia de espículas de esponjas y fragmentos de radiolarios y poca materia orgánica con presencia de cuarzos. Dominan sedimentos tipo arenosos,

Se observó mayor abundancia de espículas de esponjas en la estación M772.-072 frente a Ecuador con  $72 \times 10^6$  espículas.g<sup>-1</sup> de sedimento seco, seguida de la estación M77-002 en Pisco con una concentración total de  $25 \times 10^6$  espículas.g<sup>-1</sup>. Las mayores concentraciones de esqueletos de radiolarios se encontraron en las estaciones M772-005 frente a Callao y M722-056 frente a Tumbes con  $14 \times 10^6$  esqueletos.g<sup>-1</sup> de sedimento seco y  $13 \times 10^6$  esqueletos.g<sup>-1</sup> s respectivamente (figura 37).



*Figura 37. Concentración de tafocenosis ( $\times 10^6 \cdot g^{-1}$ ) de espículas de esponjas y esqueletos de radiolarios encontrados en sedimento superficial en las estaciones de muestreo*

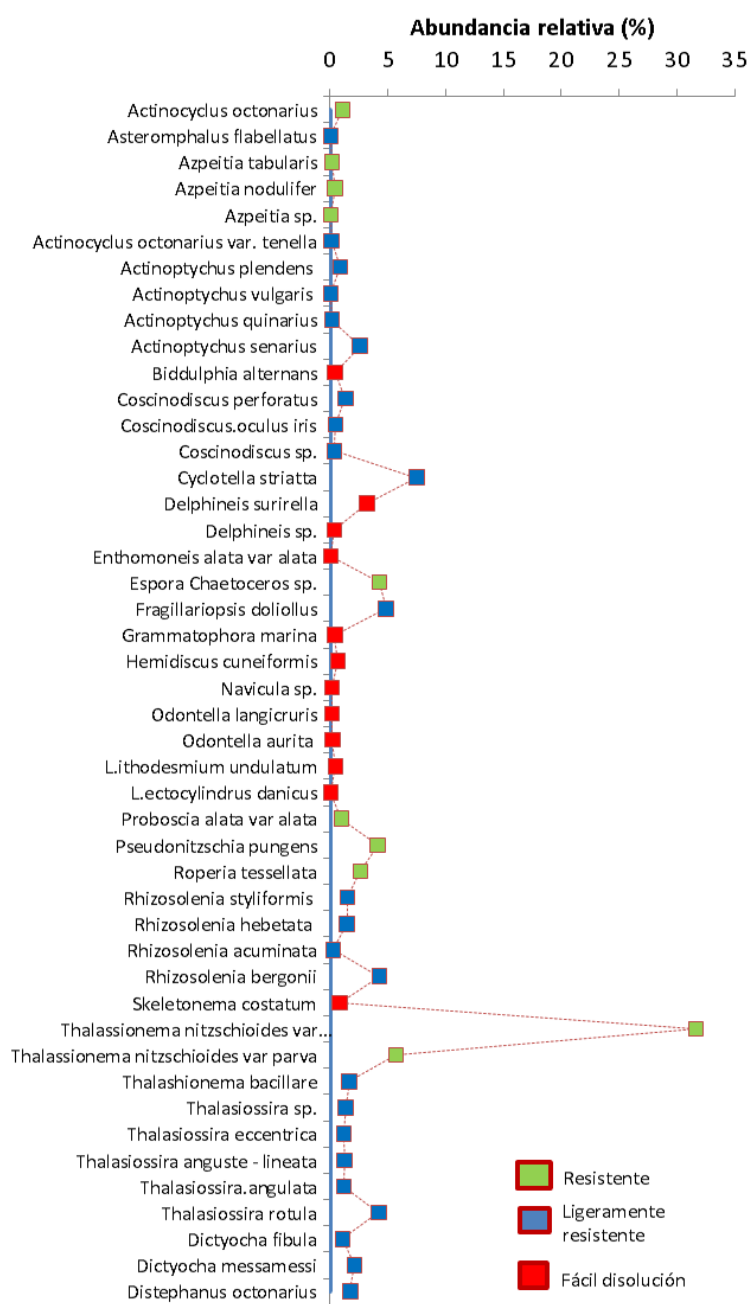


Figura 38. Abundancia relativa (%) de especies de diatomeas encontradas en sedimento superficial y grado de disolución respectivo

*Tabla 17. Descripción cualitativa de los sedimentos superficiales por localidades desde Pta. San Fernando (Ica) hasta Ecuador, MO= Materia orgánica, MOA= Materia orgánica aglomerada, MOD= Materia orgánica dispersa, Zp (Zooplankton).*

Localidad	Estación	Componentes biogénicos	Materia orgánica	Composición de Minerales
Pisco	M772-002	Abundantes restos de diatomeas centrales y pennadas enteras Presencia de radiolarios y foraminíferos	Abundante MOD	Abundancia de cuarzos y arcillas
Callao	M772-005	Abundantes restos biogénicos, diatomeas centrales y pennadas, radiolarios silicoflagelados, espículas de esponjas y restos de Z+D27p	Abundante MOA marrón	Abundancia de cuarzos y arcillas Presencia de minerales fosfáticos (huesos)
Huacho	M772-022	pocos restos biogénicos, algunos restos radiolarios y espículas de esponjas	Poca MO	Abundancia de cuarzos
	M772-024	Pocos restos biogénicos, presencia de diatomeas y radiolarios fragmentados presencia de foraminíferos	Abundante MOA marrón	Poco contenido de minerales presencia de cuarzos
	M772-026	Pocos restos biogénicos, radiolarios fragmentados y foraminíferos pequeños	Abundante MOA marrón	Abundantes minerales de cuarzo
Chimbote	M772-028	Pocos restos biogénicos, fragmentos de diatomeas y radiolarios	Abundante MOA marrón	Presencia de cuarzos
	M772-029	Abundantes restos biogénicos, diatomeas centrales enteras y pennaes restos de silicoflagelados y espículas de esponjas, abundantes foraminíferos restos de Zp, restos de esporas y polen de plantas superiores	Abundante MOA marrón	Presencia de cuarzos y minerales fosfáticos
	M772-031	Muy pocos restos biogénicos, restos de Zp y abundancia de foraminíferos	Poca MO	Presencia de cuarzos y minerales fosfáticos
Trujillo	M722-045	Pocos restos biogénicos, presencia de algunas diatomeas centrales enteras fragmentos de radiolarios, restos de Zp	Poca MO	Poco contenido en minerales
	M722-047	Pocos restos biogénicos, presencia de foraminíferos	Poca MO	Abundantes minerales fosfáticos
	M722-050	Algunos restos fragmentados de diatomeas centrales, presencia de espículas restos de radiolarios y silicoflagelados	Abundante MOA marrón	Presencia de cuarzos y algunos restos fosfáticos
Piura	M772-052	Pocos restos de diatomeas centrales y pennaes, espículas de esponjas	Presencia MOD	Pocos restos minerales, presencia de cuarzos
	M722-053	Pocos restos biogénicos, presencia de fragmentos de diatomeas y radiolarios algunas espículas de esponjas	Presencia de MOD	Pocos restos minerales, presencia de cuarzos
	M722-054	Pocos restos biogénicos, presencia de fragmentos de diatomeas y radiolarios algunas espículas de esponjas	Abundante MOA y MOD	Abundancia de cuarzos y minerales fosfáticos
Tumbes	M722-056	Pocos restos biogénicos	Presencia MOD	Abundancia de cuarzos
	M722-059	Abundantes restos biogénicos de diatomeas centrales y pennaes radiolarios, espículas de esponjas y foraminíferos	Abundante MOA y MOD	Abundancia de cuarzos
	M722-060	Abundantes restos biogénicos fragmentados de diatomeas centrales restos de radiolarios y silicoflagelados, restos de Zp y foraminíferos	Abundante MOA	Abundancia de cuarzos y minerales fosfáticos
Ecuador	M722-064	Pocos restos biogénicos, presencia de espículas de esponja y radiolarios	Poca MO	Presencia de cuarzos
	M722-067	Pocos restos biogénicos	Poca MO	Presencia de cuarzos
	M722-069	Pocos restos biogénicos, presencia de espículas de esponja y radiolarios	Poca MO	Presencia de cuarzos
	M722-070	Pocos restos biogénicos, presencia de espículas de esponja y radiolarios	Poca MO	Presencia de cuarzos
	M722-071	Pocos restos biogénicos	Poca MO	Presencia de cuarzos
	M722-072	Pocos restos biogénicos, presencia de espículas de esponja y radiolarios	Poca MO	Presencia de cuarzos
	M722-075	Pocos restos biogénicos, presencia de espículas de esponja y radiolarios	Poca MO	Presencia de cuarzos

### **6.5.2 Comparación entre columna de agua y sedimento**

Para este análisis se tomaron en cuenta los resultados de los valores obtenidos en columna de agua (arrastre vertical) y sedimento superficial (material tratado).

El análisis de agrupamiento, basado en datos de presencia-ausencia de especies, presentes en columna de agua y sedimento superficial reveló las similitudes entre las especies en ambos ambientes. Los porcentajes de similitud entre estaciones se encuentran en un 10% (figura 39) de esta manera, se agrupan a este nivel dos bloques de estaciones de muestreo uno de ellos conformado por las especies del sedimento superficial (S) y el otro grupo por las especies presentes en columna de agua (C), lo que estaría representando que entre ambos ambientes no se presenta una similitud significativa entre las asociaciones específicas encontradas tanto en superficie como en fondo, es decir separando a las asociaciones de columna de agua y sedimento superficial por lo tanto se encuentran separadas.

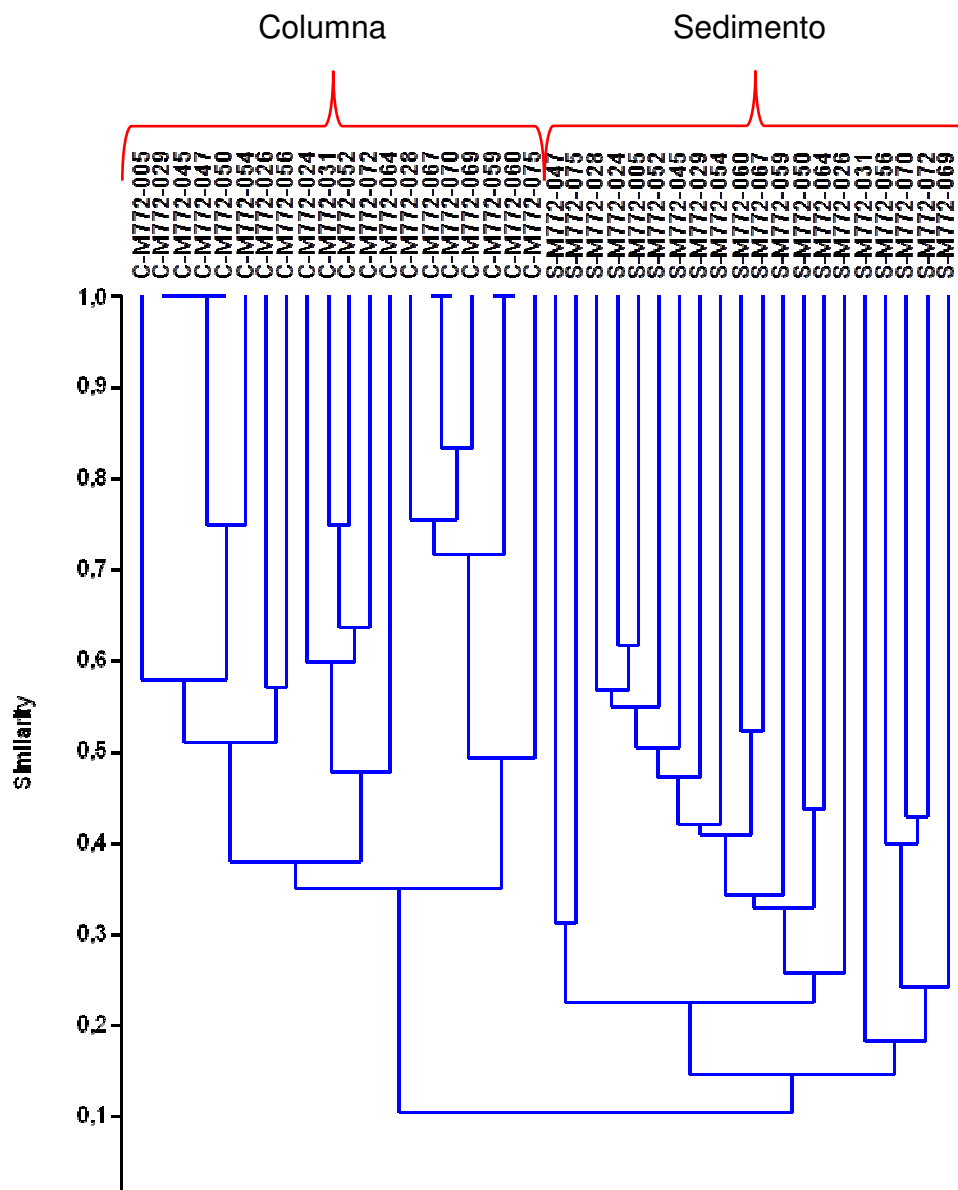


Figura 39. Dendrograma de similitud (análisis cluster) de las asociaciones de especies en columna de agua y sedimento superficial utilizando el índice de Jaccard

Primera letra indica el tipo de ambiente de colecta: R (columna de agua), S (Sedimento) seguido de la estación de muestreo

Se observa, por lo tanto una disolución selectiva desde la columna de agua hacia el sedimento. En total se contabilizó 81 especies de diatomeas y silicoflagelados, encontrándose solo un total de 48 especies sobre el sedimento superficial. Se presentó una pérdida del 38% de especies que no se presentan en el sedimento.

La abundancia de especies tanto en columna de agua y sedimento mostraron una diferencia significativa, según lo demuestra el análisis de T-Student (Anexo 10) entre columna de agua y sedimento, mostrando una diferencia significativa para ambos ambientes indicando que la composición y número de especies cambia con respecto a la profundidad.

En columna de agua existió una dominancia significativa de especies frágiles (poco silificadas) como *Detonula pumila*, *Eucampia zodiacus*, *Leptocylindrus danicus*, *Lithodesmium undulatum*, *Fragillariopsis doliollus*, *Pseudosnitzschia pungens*, *Skeletonema costatum* y *Thalassiosira anguste-lineata*. La mayor abundancia en columna de agua estuvo representada por *Detonula pumila* (34,73%) (especie de fácil disolución) sin embargo su presencia en los sedimentos es nula. Entre las especies que escapan de la disolución se encontró a *Skeletonema costatum*, esta especie frágil y fácil a la disolución se preservó en los sedimentos, presentando una contribución relativa del 0,85 % tanto en columna de agua como en sedimento superficial.

Con respecto a los sedimentos, se notó una reducción en la abundancia de las especies de fácil disolución presentando taxas más robustas entre ellas *Thalassionema nitzschioides* (31,66%), *Cyclotella striata* (7,49%), *Fragillariopsis doliolus* (4,86%) y las esporas de resistencia de Chaetoceros (4,28%) entre otras.

Las esporas de resistencia de *Chaetoceros* presentaron una mayor contribución relativa, siendo el reflejo de la columna de agua en donde se les encontró en forma de células vegetativas tales como: *Chaetoceros affinis*, *Ch. compressus*, *Ch. debilis*, *Ch. decipiens*, *Ch. socialis*, *Ch. didymus* y *Ch. lorenzianus* (figura 40).

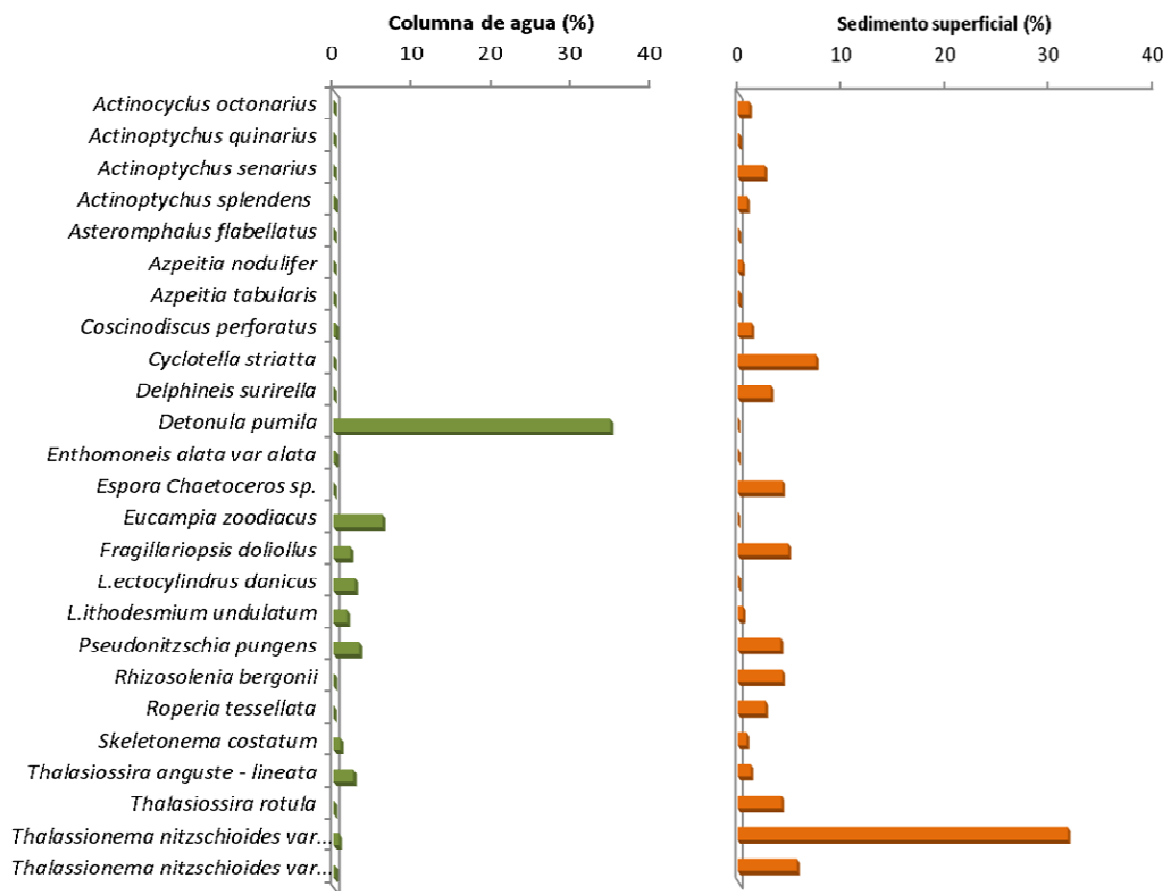


Figura 40: Comparación de las taxas más abundantes en los diferentes ambientes:

Columna de agua y sedimentos superficial, en las estaciones de muestreo



## 7. DISCUSIÓN

### 7.1 *Columna de agua*

Los procesos físicos favorecen a la composición, abundancia y distribución de especies fitoplanctónicas en las áreas de surgencia, tales como el viento, produciendo una circulación de nutrientes, turbulencia de los niveles superiores y transporte de masas de agua profundas, al igual que la luz, temperatura, salinidad y oxígeno. (BLASCO *et al*, 1981, HUNSTMAN *et al.*, 1981 y ROJAS DE MENDIOLA, 1981).

Durante el período de estudio en la primavera del 2008 persistieron condiciones cercanas a la normalidad en el sistema climático del Pacífico ecuatorial. Dentro de las 30 millas náuticas del mar peruano, la surgencia costera se desarrolló en forma moderada, con bajas temperaturas y menores concentraciones de salinidad y oxígeno con excepción de la zona al norte de 6°S, donde se presentó restringido por la presencia de aguas cálidas de procedencia ecuatorial según como lo indica IMARPE (2008).

Las condiciones hidrográficas en la plataforma centro-norte del Perú estuvieron sujetas a los cambios a escala regional debido a La Niña 2007, que se prolongó hasta mediados del año, ocasionando el enfriamiento de la zona costera, con la presencia de la isoterma de 15°C dentro de la capa superior de 100m. La ZMO fue más somera durante la primavera y el verano. (INFORME TÉCNICO ENFEN 2008).

Dentro de las 73 millas náuticas, predominaron aguas costeras frías (ACF) con salinidades menores a 35.0 UPS y temperaturas menores a 16°C. Estas condiciones frías se relacionan al desplazamiento hacia el Nor-Este del Anticiclón del Pacífico Sur

determinando un incremento en la intensidad de los vientos alisios del sur y en consecuencia una intensificación de la surgencia costera y ecuatorial. Las aguas de surgencia provienen de profundidades entre 50 y 100m con un elevado contenido de nutrientes y bajas concentraciones de oxígeno (IMARPE, 2008).

En el área de estudio, se han encontrado tres tipos de masas de agua: Aguas Costeras Frías (ACF), Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES) y Aguas Subtropicales Superficiales (ASS), lo que coincide con lo determinado por ZUTA Y GUILLEN (1970). La presencia de AES frente a las estaciones del norte coincide con lo observado por ZUTA Y GUILLÉN (1970), CALIENES (1989), MORÓN Y CRISPIN (1997), quienes indican que estas aguas normalmente se presentan en esta zona y en esta época del año.

Al norte de los 6° LS, donde se observan AES, se encontraron las diatomeas *Climacodiun frauenfeldianum*, *Dactiliosolen phuketensis* y *Hemiaulus membranaceus* especies propias de estas aguas, las mismas que fueron reportadas por CALIENES (1989). La salinidad y la temperatura juegan un rol importante en la determinación de las masas de agua, pudiendo afectar en algunos casos a la sucesión de las especies del fitoplancton al favorecer el hundimiento de ciertas especies.

Por otro lado, la disponibilidad de nutrientes es el factor predominante para la realización de la fotosíntesis por los organismos del fitoplancton (ZUTA Y GUILLÉN, 1970). En la zona de estudio, se deduce una alta concentración de nutrientes frente a las estaciones de Pisco, Callao y Chimbote debida principalmente a que estas zonas corresponden a sitios de importantes surgencias.

La comunidad fitoplántonica encontrada en las estaciones entre Pisco y Piura fueron típica de zonas neríticas y aguas de surgencia asociadas a temperaturas entre los 15,8-20,3°C (CALIENES,1973) con predominancia de diatomeas pequeñas de surgencia costera, siendo frecuentes *Skeletonema costatum*, *Thalassionema nitzschioides*, *Detonula pumila*, *Chaetoceros compressus*, *Chaetoceros debilis*, *Chaetoceros lorenzianus*, *Chaetoceros decipiens*, *Chaetoceros peruvianum*, *Leptocylindrus danicus*, *Thalassiosira subtilis* así como una diversidad de diatomeas de mayor tamaño como *Eucampia zoodiacus*, *Pseudonitzschia pungens* y diatomeas centrales. Se observaron especies de aguas oceánicas como las diatomeas *Fragilariopsis doliolus*, *Planktoniella sol*, *Prosbocia alata* y *Leptocylindrus mediterraneus* estos resultados coinciden con los reportados por KAMEYA *et al.*, (1995) y OCHOA & GÓMEZ (1988).

Entre la comunidad de dinoflagelados se encontraron especies como *Ceratium dens*, *Ceratium furca*, *Ceratium tripos*, *Protoperidinium depressum*, *Protoperidinium mendiolae* entre otros. También se encontraron especies productoras de floraciones algales como *Prorocentrum micans* y *Scripsiella trochoidea*. Esta composición fue similar a la encontrada por GUZMÁN *et al.*, (2001), KAMEYA (1995), SÁNCHEZ (1999), SÁNCHEZ *et al* (1995), OCHOA (1988), CALIENES (1973), ROJAS DE MENDIOLA (1981) Y OCHOA & GÓMEZ (1988).

Según GUILLEN *et al.*, (1968), encontraron las más altas abundancias en zonas costeras debido a la presencia la termoclina y la capa de mezcla poco profunda, favoreciendo las condiciones de alta productividad fitoplanctónica.

La composición comunitaria del fitoplancton varía latitudinal y longitudinalmente coincidiendo con lo observado por OCHOA Y GÓMEZ (1981), ROJAS DE MENDIOLA (1966 Y 1981), ROJAS DE MENDIOLA *et al*, 1985) STRICKLAND *et al.* (1969). La mayores

concentraciones de fitoplancton se encuentran dentro de las 30 millas., asociadas a las Aguas Costeras Frías ricas en nutrientes, siguiendo el mismo patrón que la distribución de clorofila a principalmente en las áreas de surgencia (7°, 8°, 9°, 10°, 11° y 14° LS coincidiendo con lo determinado por ZUTA Y GUILLÉN (1970), BLASCO (1971), GUILLEN *et al.* (1971), GUILLEN Y CALIENES (1981) y PIZARRO *et al* (1997).

La alta concentración del fitoplancton en la costa peruana de acuerdo a CALIENES (1985) y SEMINA (1972), se debe a la dirección y velocidad de los movimientos verticales del agua de mezcla, a la regeneración de los nutrientes especialmente la concentración de los fosfatos, en la zona eufótica y la gradiente de la piconclina.

Para la primavera, el área de estudio mostró el desarrollo de la surgencia costera más intenso frente a Punta San Fernando de acuerdo a las características de surgencia descrita por ZUTA Y GUILLÉN (1970). La comunidad fitoplanctonica como es típico estuvo constituida por dos grupos de especies que corresponden a la primera y segunda etapa de la sucesión planctónica coincidiendo con lo hallado por BLASCO (1971), ROJAS DE MENDIOLA Y ESTRADA (1976).

En las estaciones de Pisco y Callao se observaron una mayor composición de especies del género *Chaetoceros*, los cuales se presentan en una mayor abundancia en la época de primavera, tal como lo afirman ROJAS DE MENDIOLA (1981) Y SÁNCHEZ (1988).

Frente a las estaciones del Ecuador se observó que la ocurrencia de masas de agua superficiales y sub-superficiales variaron considerablemente debido al régimen complejo de la circulación oceánica en el Pacífico Oriental Tropical, en particular el desplazamiento estacional del Frente Ecuatorial es un factor importantes para la

distribución de las masas de agua del Ecuador (OKUDA *et al*, 1983; TORRES Y TAPIA, 1998).

El fitoplancton frente a las costas Ecuatorianas estuvo representado por una gran variedad de poblaciones específicas donde predominan principalmente los dinoflagelados asociadas a las masas de agua tropicales (ROJAS DE MENDIOLA *et al.*, 1981).

Las mayores abundancias celulares se localizan en la superficie sobre los 30m. En algunas estaciones resultan las diatomeas el grupo más dominante y principales componentes del fitoplancton pero el grupo de los dinoflagelados resultan ser los más diversos. Dentro de los Dinoflagelados, las especies *Ceratium tripos*, *Ceratium trichoceros*, *Ceratocorys horrida* son consideradas especies típicas de aguas cálidas (PESANTES, 1983).

Mayores concentraciones se presentaron en el Golfo de Guayaquil 3°LS probablemente originada por la disponibilidad de nutrientes debido al aporte fluvial del río Guayas ya que la presencia de *Ditylum brightwelli* y *Bacteriastrum sp.* indicaron una masa de agua influenciada por el aporte de aguas continentales ya que son características de aguas neríticas (CASTILLO, 1984).

Frente al Ecuador, en columna de agua, las diatomeas dominantes fueron *Rhizosolenia styliformis* y *Cilindrotheca closterium* consideradas especies oceanicas y cosmopolitas (JIMENEZ, 1976) entre los dinoflagelados predominaron *Ceratium tripos* y *Ceratium massilense* característicos de aguas cálidas y costeras (CASTILLO, 1984).

La distribución horizontal muestra que las mayores concentraciones de fitoplancton se localizaron al sur del frente ecuatorial decreciendo las concentraciones hacia el noreste. Las diatomeas predominaron en las aguas ligadas a temperaturas mas frias en la parte meridional del frente mientras que los dinoflagelafos estuvieron predominantes al noreste caracterizados por el avance de aguas mas cálidas (JIMÉNEZ Y BONILLA, 1980).

La distribución vertical de la producción a través de la zona eufótica fue uniforme en todas las estaciones de muestreo, mostrando que las mayores concentraciones de células fueron encontrada en las capas superficiales (0-15m) y su composición especiológica a 10 m es muy semejante a 0 m, entre las especies más abundantes se encuentran: *Skeletonema costatum*, *Thalassionema nitzschioides*, *Leptocylindrus danicus*, *Pseudo-nitzschia pungens*, *Chaetoceros affinis*, *Chaetoceros debilis* y *Chaetoceros diadema*. Estos resultados son coincidentes a los encontrados por OCHOA & GÓMEZ (1988) para las profundidades de 0 hasta 20m. A partir de las profundidades de 30 hasta 50m las células presentaron un decrecimiento verticalmente tal como lo postula GUILLEN (1968).

La termohalina fue encontrada en los primeros metros (0-20 m) la distribución de la misma genera una disponibilidad de nutrientes, para ser aprovechados solo en los niveles superiores (0-20m) por lo tanto a mayor profundidad la distribución de nutrientes es menor.

Se observó que por debajo de los 50 metros de profundidad las valvas de las diatomeas se encontraron vacías y sin organelas celulares tales como cloroplastos, esto debido a la actividad microbiana, pastoreo y disolución en su tránsito al fondo marino.

Se observó que en general las mayores concentraciones del fitoplancton se encontraron cerca de la costa, las mismas que disminuyen mar adentro debido posiblemente a la pobreza de nutrientes, asociada a las AES al norte en Piura.

El proceso de disolución jugó un rol importante en la preservación de las señales silíceas en los sedimentos frente a la costa peruana. (DE MASTER, 2003).

Existió una diferencia significativa entre la columna de agua y los sedimentos superficiales con respecto al proceso de disolución de las especies, la columna de agua se encontró dominada por diatomeas frágiles y de fácil disolución, observándose que las especies poco silificadas son las más vulnerables a la disolución como *Skeletonema costatum*, *Leptocylindrus danicus* y *Detonula pumila*. Por otro lado el sedimento se encontró enriquecido por especies robustas y fuertemente silificadas como *Thalassionema nitzschioides*, *Roperia tessellata*, *Fragilariopsis doliolus*, esporas de resistencia de *Chaetoceros* y *Actinocyclus octonarius*.

Similar contribución encuentra ISMENE (2004) en la columna de agua reportando especies frágiles como *Neodelphineis indica*, *Nitzschia cf. dissipata*, *Pseudonitzschia delicatissima*, *Navicula perminuta* y especies robustas en los sedimentos como *Azpeitia nodulifera*, *Azpeitia neocrenulata*, *Nitzschia interruptestriata*, *Roperia tessellata* y *Alveolus marinus*.

Frente a la costa peruana se observaron especies de diatomeas de débil silificación tales como *Leptocylindrus danicus*, *Skeletonema costatum*, *Pseudonitzschia pungens* y *Detonula pumila*, esto demuestra que en la columna de agua el proceso de disolución selectiva afecta a estas especies disolviendo sus valvas en la misma columna o en la interface agua/sedimento.

Por otro lado especies de fuerte silificación con valvas resistentes a la disolución como esporas de resistencia de *Chaetoceros* y *Fragilariopsis doliolus*, entre otras, mostraron una moderada preservación y menor disociación de sus valvas, ya que no se ven totalmente afectadas por la fragmentación mecánica.

Los parámetros físicoquímicos no mostraron una relación directa entre las variables de abundancia y concentración de valvas por lo que se considera que estos factores no estarían interviniendo en la disolución de las valvas de especies de diatomeas, según DE MASTER (2003), la disolución de las especies se encuentra relacionada a variaciones del pH, ya que en un rango entre 6 a 9 se permite la disolución de la sílica biogénica y a su vez la apertura de los poros de las valvas desgastándolas y posteriormente fragmentándolas.

## **7.2 Sedimento Superficial**

Las estaciones frente a la costa peruana se encontraron dominadas por una sedimentación biogénica como resultado de la alta productividad de la columna de agua y el sistema de surgencias tal como lo reportado por ROJAS DE MENDIOLA (1981).

Las zonas costeras presentaron una alta densidad y productividad primaria resultado de las aguas de surgencia (GUILLEN *et al.*, 1971) por el contrario las zonas oceánicas presentaron condiciones de aguas pobres en nutrientes donde las densidades fitoplanctónicas fueron bajas (OCHOA *et al.*, 1988).

SCHUETTE Y SCHRADER (1981) demostraron que las concentraciones de diatomeas fueron abundantes en sedimentos superficiales en zonas costeras frente al Perú con valores de hasta  $16.9 \times 10^6$  valvas por gramo de sedimento seco, mientras que en las zonas más oceánicas los valores fueron de  $13.1 \times 10^6$  valvas por gramo de sedimento



seco. GUILLEN *et al.*; (1968), postulan que las diatomeas reflejan los patrones generales de productividad en columna de agua, así como los óptimos niveles de requerimientos para su desarrollo tales como nutrientes, temperatura y salinidad.

Las diatomeas encontradas en los sedimentos en el área de estudio son tanto de ambientes neríticos tales como *Actinocyclus octonarius* y *Cyclotella striata*; ambientes oceánicos de condiciones cálidas como *Fragilariopsis doliolus* y *Roperia tessellata*; y especies de surgencia costera como las esporas de resistencia de *Chaetoceros*, *Skeletonema costatum* y *Thalassionema nitzschioides*. Según SCHRADER & SORKMES (1990), SCHUETTE & SCHRADER, (1981), GUTIÉRREZ *et al.*, (2006) las diatomeas típicas de eventos de surgencia y demás especies neríticas son el reflejo de la columna de agua y se pueden encontrar bien preservados en los sedimentos.

Las especies de *Chaetoceros* así como las esporas de resistencia son el grupo de mayor abundancia en los sistemas de surgencia ya que presentan una alta contribución al total de la composición tanto en columna de agua como en sedimento superficial. (TREPPKE *et al.*, 1996). Se registraron esporas de *Chaetoceros* en las estaciones frente a Pisco y Callao que corresponden a este tipo de sistemas,

Así mismo, los registros sedimentarios pueden reflejar el transporte de las masas de aguas profundas, en la estaciones frente a Pisco y Callao se observaron diatomeas como *Roperia tessellata*, *Azpeitia nodulifera*, *Fragilariopsis.doliolus*, que según HASLE (1976) son indicadoras de aguas cálidas, por lo tanto se infiere que el transporte de estas especies a ambientes más costeros se debieron a la intrusión de masas de agua a niveles más profundos.

Por lo tanto, la composición del fitoplancton silíceo en los sedimentos superficiales actuales se encontró representada por especies de aguas frías, cálidas y de surgencia. Se pueden encontrar especies robustas o fuertemente silificadas tales como esporas de resistencia de *Chaetoceros*, *Thalassionema nitzschioides*, *Actinocyclus octonarius*, *Roperia tessellata* y *Fragilariopsis doliolus*, en algunas estaciones costeras también se encuentra *Skeletonema costatum* que es considerada una especie débilmente silificada.

Esta asociación es similar a las reportadas por SCHUETTE & SCHRADER (1981) y SCHRADER & SORKNES (1990) que encuentran una composición de especies entre robustas y frágiles tales como esporas de resistencia de *Chaetoceros*, *Thalassionema nitzschioides*, *Cyclotella striata*, *Ditylum brightwellii*, *Skeletonema costatum* y *Delphineis sp.*

Los sedimentos superficiales mostraron que solo una fracción del fitoplancton sílicio que escapa de la disolución es preservada en el fondo marino. Sin embargo, existen factores tales como cambios en la profundidad y circulación de masas de agua del fondo que pueden influir en la preservación. Otros factores como el oxígeno, juega un rol importante en la preservación de la materia orgánica ya que las condiciones anóxicas proporcionan un mejor medio para la preservación del fitoplancton sílicio. (Valdés *et al.* ,2004).

La distribución de las comunidades de diatomeas en sedimento superficial responden a diversos patrones de requerimientos nutricionales *Thalassionema nitzschioides* y esporas de resistencia de *Chaetoceros* se adaptan a altos niveles de nutrientes, tales especies han sido reportadas por SCHRADER *et al.* (1993), SCHUETTE & SCHRADER

(1981) y DEVRIES & SCHRADER (1981) dichas especies son indicadores de sistemas de surgencia.

Por lo tanto se observó que la composición específica del fitoplancton silíceo en el sedimento es consecuencia de la disolución de las especies frágiles y la buena preservación de las especies robustas demostrándose que la disolución es selectiva, se destruye especies frágiles abundantes en aguas superficiales, por lo que la silificación de los frústulos y la composición de especies juegan un rol importante en determinar si el material silíceo de una especie determinada llega al fondo del mar y es preservada en los sedimentos.

En los sistemas de surgencias *Thalassionema nitzschioides* y las esporas de resistencia de *Chaetoceros* se encuentran relacionados a ambientes ricos en nutrientes y se les encuentra bien preservado en los sedimentos. (ABRANTES *et al.* ,2006 y KONING *et al.* ,2001), siendo estas especies dominantes principalmente en los sedimentos frente a Pisco y Callao.

En sistemas ricos en nutrientes como las zonas de Perú y el Centro de Chile la presencia del genero *Chaetoceros* en sedimentos superficiales es dominante (ABRANTES *et al.* (2006) y SCHUETTE & SCHRADER (1981). Los cuales presentan una alta contribución de especies de *Chaetoceros*, en columna de agua en la zona eufótica de la columna y contribuyen directamente a los sedimentos en forma de espora de resistencia, siendo este último estado de sucesión de las especies encontrándose en el fondo (BLASCO, 1971, TREPPEKE *et al.*, 1996, SCHUETTE & SCHRADER, 1981).

*Skeletonema costatum* considerada una especie frágil y de fácil disolución presentó una buena preservación en los sedimentos, en especial en zonas costeras frente a

Pisco y Callao, según ROJAS DE MENDIOLA (1981) y ROMERO (2003) la abundancia de esta especie se debe a la gran productividad de las aguas superficiales.

Existe por lo tanto una relación entre la composición de la comunidad en la zona eufótica y el registro de asociaciones de fitoplancton silíceo en sedimento superficial, sin embargo en varias zonas, la disolución fue mayor que la preservación en sedimentos y por lo tanto no se obtuvo semejanza con lo observado en columna de agua (ROMERO & HEBBELN, 2003).

Con respecto a los tipos de sedimentos, en general se observó que frente al margen continental peruano son predominantes los sedimentos biogénicos aquellos formados primariamente a partir de los remanentes de organismos que presentan sílice en sus estructuras como las diatomeas, silicoflagelados, radiolarios y aquellos que presentan carbonato de calcio como los cocolitofóridos, foraminíferos; entre otros.

Es posible caracterizar que en los sedimentos desde los 10°LS hasta los 15°LS en las estaciones de muestreo predominaron la arcilla limosa y coincide con la provincia sedimentaria del sur y desde los 6°LS hasta los 10°LS predominan los sedimentos arenosos sobre la plataforma con algunos parches de limo-arenoso que correspondería a la provincia sedimentaria del norte (DELGADO *et al.*, 1987).

Desde los 6°LS hasta el Ecuador predominaron generalmente los sedimentos arenosos gruesos y finos tal como lo observado por VALENCIA (1980) y SOLEDISPA (1987). La predominancia de estos sedimentos gruesos se presumen en la acción de fuertes corrientes que lavan el sedimento fino (limo- arcilla), dejando al descubierto la arena.

La acumulación y preservación de la materia orgánica en los sedimentos está determinada por diversos factores como corrientes, tasa de sedimentación, morfología

etc. (DELGADO *et al.*, 1987). A lo largo del Margen Continental Peruano la preservación de la materia orgánica sedimentaria está relacionada a las condiciones reductoras u oxidantes de oxígeno disuelto del agua de fondo y del sedimento que se relaciona a la dinámica de la ZMO.

En la provincia sedimentaria del sur el medio deposicional es anoxico por ello existe una gran cantidad de materia orgánica con bajo contenido calcáreo. A diferencia de la provincia sedimentaria del norte donde el área deposicional es bien oxigenada y con bajo contenido en materia orgánica ya que esta es regenerada y remineralizada, el  $\text{CaCO}_3$  es abundante y aumenta hacia el norte por la presencia de organismos calcáreos de aguas más cálidas (DELGADO Y GOMERO, 1995).

La materia orgánica se encontró bien preservada y es abundante en los sedimentos colectados frente a las zonas de Pisco, Callao y Huacho, donde la ZMO es más intensa y existe una mayor preservación por las condiciones anoxicas y baja remineralización. Se presentó buena preservación de restos biogénicos tales como diatomeas centrales y pennadas tanto enteras como fragmentadas tales como esporas de *Chaetoceros sp.*, *Coscinodiscus sp.* y *Thalassiosira sp.* que son especies indicadores de intenso afloramiento (SAUTER & SANCETTA, 1992) restos de radiolarios y silicoflagelados así como espículas de esponjas y restos de zooplancton.

En esta zona predominó la materia orgánica aglomerada color marrón producto de una alta productividad en la columna de agua que genera una alta velocidad de sedimentación y altos valores de sulfato reducción sedimentándose esta fracción de materia orgánica aglomerada marrón y negra tal como lo observado por VALDÉS *et al* (2003) para la Bahía de Mejillones.

Las zonas entre 3° y 10° S, se caracteriza por un bajo contenido de materia orgánica en los sedimentos, debido a la profundización del borde superior de la ZMO, como consecuencia del efecto de ventilación que tiene la contracorriente ecuatorial y a una baja productividad en la columna de agua como consecuencia una baja velocidad de sedimentación y altas tasas de reciclaje por degradación aeróbica preservándose materia orgánica aglomerada dispersa amarilla por lo tanto poca sedimentación de restos fitoplanctónicos.(VALDÉS *et al.*, 2003).

En las zonas ecuatoriales se encontró un bajo contenido de materia orgánica y poca preservación de restos biogénicos con abundante fracción amarilla. Sin embargo, se observa que en algunas zonas profundas, por debajo del borde inferior de la ZMO, se puede encontrar una buena preservación esto podría indicar que la materia orgánica puede estarse preservando en la columna de agua antes de llegar al fondo.

## 8. CONCLUSIONES

La preservación del fitoplancton silíceo en los sedimentos superficiales del margen continental frente a Perú desde Punta San Fernando (Ica) hasta la línea ecuatorial durante la primavera del 2008 es de moderada a buena. Especies de valvas robustas como *Thalassionema nitzschioides*, *Cyclotella striata*, *Fragilariopsis doliolus*, *Roperia tessellata*, *Actinopterychus senarius* y esporas de resistencia de *Chaetoceros* spp. fueron encontradas y preservadas en los sedimentos en el área de estudio.

Las condiciones oceanográficas en el área de estudio para la primavera del 2008 permanecieron cercanas a la normalidad dentro de las 30 millas náuticas del mar peruano y frente al Ecuador, la surgencia costera se desarrolló en forma moderada. En el norte a partir de los 6°S, estuvo caracterizado por la presencia de aguas cálidas de procedencia ecuatorial.

El fitoplancton silíceo en la columna de agua durante la primavera del 2008 estuvo caracterizado por la predominancia de comunidades de diatomeas de fácil disolución tales como *Detonula pumila*, *Eucampia zodiacus*, *Pseudonitzschia delicatissima*, *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros* spp. siendo nula su presencia en los sedimentos con excepción de *Skeletonema costatum* y esporas de resistencia de *Chaetoceros* spp. que se encuentran mejor preservadas frente a Pisco y Callao.

En columna de agua, la concentración celular en las estaciones cercanas a la costa, es mayor que en las estaciones alejadas. Igualmente, las mayores densidades se encontraron entre los 5-20m de profundidad mostrando la mayoría de células vivas con cloroplastos, a profundidades mayores se presentan densidades menores. La comunidad de especies fitoplanctónicas muestran una distribución típica propia de Aguas Costeras Frías en la costa central y aguas más cálidas en la costa norte.

La distribución del fitoplancton silíceo en los sedimentos superficiales estuvo representada por diatomeas de ambientes neríticos tales como *Actinocyclus octonarius* y *Cyclotella striata*; ambientes oceánicos de condiciones cálidas como *Fragilariospsis doliolus* y *Roperia tessellata*; y especies de surgencia costera como las esporas de resistencia de *Chaetoceros*, *Skeletonema costatum* y *Thalassionema nitzschioides*. Del grupo de los silicoflagelados, *Dictyocha fibula*, fue la especie que se distribuyó ampliamente en la zona de muestreo. El transporte lateral de las masas de aguas es evidente.

Las mayores abundancias de valvas de diatomeas se encontraron frente a Pisco y Callao, las especies más abundantes fueron *Thalassionema nitzschioides*, *Cyclotella striata* y esporas de *Chaetoceros* spp.

La abundancia de especies tanto en columna de agua y sedimento mostraron una diferencia significativa para ambos ambientes indicando que la abundancia y número de especies cambia con respecto a la profundidad. La riqueza de especies es baja en los sedimentos superficiales, debido al proceso de disolución selectiva en columna de agua y el fondo marino. Siendo las diatomeas débilmente silificadas las que se degradan rápidamente, como *Skeletonema costatum*, *Leptocylindrus danicus* (disolución rápida), entre otras, cambiando drásticamente la diversidad y abundancia de la tafocenosis en los sedimentos en donde se preservarán las especies más robustas tales como *Thalassionema nitzschioides*, *Cyclotella striata*, entre otras.



El grado de preservación en las estaciones de muestreo fue de moderada a buena, las estaciones frente a Pisco y Callao presentaron una mejor preservación entre los sitios muestreados. La especie más abundante en sedimento fue *Thalassionema nitzschioides* que presenta resistencia a la disolución, sin embargo frente a Pisco y Callao, se evidencia la presencia de *Skeletonema costatum* que es una especie débilmente silificada.

Los parámetros fisicoquímicos tales como temperatura, oxígeno y salinidad no presentaron una relación significativa entre la abundancia de especies en columna de agua y concentración de valvas en sedimentos. La latitud, la profundidad de la columna de agua y la caracterización del sedimento influyen en la distribución de los restos silíceos en sedimentos superficiales, sin embargo no serían los únicos factores responsables que estarían modulando su preservación en los sedimentos

## **9. RECOMENDACIONES**

Es necesaria la continuidad en el muestreo de las comunidades fitoplanctónicas silíceas en columna de agua y sedimento a través de períodos de tiempo estacionales a lo largo de las estaciones evaluadas, así como considerar un perfil latitudinal más completo y a través de diferentes profundidades en la columna de agua.

Asimismo, es necesaria la determinación de la tasa de sedimentación en las zonas con mayor productividad y flujo de sedimentación como frente a Pisco y Callao para las diferentes estaciones anuales con el uso de trampas de sedimentación, se permitiría realizar una correlación entre la abundancia de las especies fitoplanctónicas que se encuentran en la columna de agua y las concentraciones de valvas de diatomeas en los sedimentos superficiales.

## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRANTES, F. 1988. Diatoms assemblages as upwelling indicators in surface sediments off Portugal. *Marine Geology* 85, 15-39.

ABRANTES, F. & MOITA, T., 1999. Water column and recent sediment data on diatoms and coccolithophorids, off Portugal, confirm sediment record as a memory of upwelling events. *Oceanologica Acta* 22, 319– 3.

ABRANTES F. 2000. 200,000 years diatom records from Atlantic upwelling sites reveal maximum productivity during LGM and a shift in phytoplankton community structure at 185,000 years. *Earth Planet Science Letters*, 176:7–16.

ABRANTES, F., GIL, I., LOPES, C., CASTRO, M., 2004. Quantitative diatom analyses a faster cleaning procedure. *Deep-Sea Research I* 52:189–198.

ABRANTES, F., LOPES, C., MIX, A. AND PISIAS, N. 2007 Diatoms in Southeast Pacific surface sediments reflect environmental properties. *Quaternary Science Reviews*, 26, 155-169.

AGUIRRE C., T. CHÁVEZ, P. GARCÍA & J. RAYA. 2007. EL Silicio en los Organismos Vivos, *Revista Interciencia*, 32 (8): 504 – 509.

AMOR ASENSIO, I.; GÓMEZ CATOIRA, J.L. 1985. Contribución al estudio de sedimentos de la ría de Ribadeo. Cuad. Lab. Xeol. Laxe. 9: 307-319.

ARMSTRONG, H. and BRASIER, M. Microfossils. 2nd ed. United Kingdom: Blackwell Publishing, 2005. 305p.

BAKUN, A AND S. J. WEEKS. 2008. The marine ecosystem off Peru:What are the secrets of its fishery productivity and what might its future hold? Prog. Oceanogr. 79:290-299.

BALECH, L. y. FERRANDO H. 1964. Fitoplancton Marino. Editorial. University of Buenos Aires Press, 157pp.

BALECH, E. 1988. Los dinoflagelados del Atlántico Sudoccidental. Publicación Especial Inst. Español de Oceanografía, 310 pp.

BARBER, R.T. AND SMITH R.L. 1981. Coastal upwelling ecosystems. pp 31–68. In: A.R. Longhurst (Ed) Analysis of Marine Ecosystems. Academic Press, New York. 741 pp.

BARREDA, M ,1957. El Plancton de la Bahía de Pisco. *Bol. Cient. Comp. Adm. del Guano*, 33(9):7-24.

BARRON J.A., MARBÀ N., DUARTE C.M., PEDERSEN M.F., LINDBLAT C, KERSTING K., MOY F. & BOKN T. 2003. High organic carbon export precludes eutrophication responses in experimental rocky shore communities. *Ecosystems*, 6: 144-153.

BARRON J.A; BUKRY D, FIELD D, 2008 Santa Barbara Basin diatom and silicoflagellate response to global climate anomalies during the past 2200 years. *Quaternary International* (2008) 1–11.

BERNÁRDEZ, P., PREGO, R., FRANCÉS, G., GONZÁLEZ-ÁLVAREZ, R., 2005. Opal content in the Ría de Vigo and Galician continental shelf: biogenic silica in the muddy fraction as an accurated paleoproductivity proxy. *Continental Shelf Research*, 25:1249–1264.

BLASCO, D. 1971. Composición y Distribución del fitoplancton en la región de afloramiento de la costa Peruana. *Investigación Pesquera* 35 (1): 309-330.

BLASCO, D., M, ESTRADA & B. JONES 1980. Relationship between the phytoplankton distribution and composition and the hydrography in the northwest African upwelling region near Cabo Corbeiro. *Deep Sea Res.*,27a:799 - 821.

BLASCO, D., ESTRADA, M., JONES, B.H., 1981. Short time variability of phytoplankton populations in upwelling regions—the example of Northwest Africa. In: Richards, F.A. (Ed.), Coastal Upwelling. AGU, Washington, DC, pp. 339–347.

CALIENES, R. 1966. Fluctuaciones del fitoplancton en relación con los fosfatos, temperatura y el desove de la anchoveta (*Engraulis ringens* J.) En: 1er Sem. Latinoamericano sobre el Océano Pacífico Oriental, U.N.M.S.M. Lima, pp. 70-72.

CALIENES, R. 1973, Diversidad y Asociación del Fitoplancton en Callao 1961-1962. Arequipa (PE),. 79 p., 33 Universidad Nacional San Agustín de Arequipa.

CALIENES, R.; O. GUILLÉN & N. LOSTAUNAU. 1985. Variabilidad espacio-temporal de clorofila, producción primaria y nutrientes frente a la costa peruana. Bol. Inst. Mar Perú (10): 6-12.

CARMELO, R 1997 Identifying Marine diatoms and Dinoflagellates. Department of Environmental Protection Florida Marine Research Institute St.Petesburg, Florida Acedemic Pres, INC 598 pp.

CASTILLO F. 1984. Fitoplancton del Pacífico colombiano como indicador de masas de agua (ERFEN IV). Biología Pesquera 13: 67-70.

CLEMENS, S.C. Y PRELL, W.L. 2003. A 350,000 year summer-monsoon multi-proxy stack from the Owen Ridge, Northern Arabian Sea. Marine Geology, 201, 35-51.

CUPP, E. 1943. Marine Plancton Diatoms of the west Coast of North America. Bull. Scripps. Inst. Oceanogr, Tech. Ser. 15: 1-238.

DELGADO, C., GOMERO, R., SALZWEDEL, H., FLORES, L., & CARVAJAL, G., 1987 Sedimentos superficiales del margen continental peruano: un mapa textural, IMARPE Boletín, v 11: 182-190.

DELGADO C. y GOMERO, R. 1995. Atlas sedimentológico de la plataforma continental peruana. Bol. Inst. Mar Perú., vol. 110, p. 5 - 31.

DE MASTER. 2003. The Diagenesis of Biogenic silica: Chemical Transformations occurring in the water column, Seabed and Crust. *Treatise on Geochemistry*. 7: 87-98.

DE VRIES, T.J., 1979 Nekton remains, Diatoms, and Holocene Upwelling off Perú, Thesis, Oregon State University, Sch Oceanogr., Corvalis, Oregon., 85pp.

DE VRIES, T.J. & H. SCHRADER. 1981. Variation of upwelling/oceanic conditions during the latest Pleistocene through Holocene off the central Peruvian coast: a diatom record. *Mar. Micropaleontol.* 6:157-167.

ESTUDIO NACIONAL DEL FENÓMENO "EL NIÑO" (ENFEN ) 2008 Informe Técnico del Comité Multisectorial encargado del estudio nacional del Fenómeno El Niño. Diciembre 2008.

ESTRADA, M. y D. BLASCO. 1985. Phytoplankton assemblages in coastal upwelling areas. Simposio Internacional sobre áreas de afloramiento en el oeste africano. Instituto de Investigaciones Pesqueras, Barcelona, 1: 379-402.

GRACO, M; J LEDESMA, G FLORES & M GIRON 2007 Comentario: Nutrientes, oxígeno y procesos biogeoquímicos en el sistema de surgencias de la corriente de Humboldt frente a Perú. *Revista Peruana de Biología*, 14(1):117-128.

GUILLEN, O., B. ROJAS DE MENDIOLA y R. IZAGUIRRE DE RONDAN. 1971. Primary productivity and phytoplankton in the coastal peruvian waters. *Fertility of the Sea*. Vol. 1: 157-185.

GUILLÉN O. & R. CALIENES. 1981. Upwelling off Chimbote. En F. A. Richards [ed.], Coastal Upwelling. Coastal and estuarine sciences 1. American Geophysical Union. Washington, D.C., p. 312-326.

GUILLEN O. & R. IZAGUIRRE DE RONDAN. 1968. Producción Primaria de las Aguas Costeras del Perú en el Año 1964. Instituto del Mar del Perú IMARPE. Vol. 1 (7): 349-376.

GUTIÉRREZ D, A. SIFEDDINE, J.L. REYSS, G. VARGAS, R. SALVATTECI, V. FERREIRA, L. ORTLIEB, D. FIELD, T. BAUMGARTNER, M. BOUSSAFIR, H. BOUCHER, J. VALDES, L. MARINOVIC, P. SOLER AND P. TAPIA, 2006. Anoxic sediments off central Peru record interannual to multidecadal changes of climate and upwelling ecosystem during the last two centuries, *Advances in Geosciences* 6 (2006), pp. 119–125.

GUTIÉRREZ, D., A. SIFEDDINE, D.B. FIELD, L. ORTLIEB, G. VARGAS, F. CHÁVEZ, F. VELAZCO, V. FERREIRA, P. TAPIA, R. SALVATTECI, H. BOUCHER, M.C. MORALES, J. VALDÉS, J.L. REYSS, A. CAMPUSANO, M. BOUSSAFIR, M. MANDENG-YOGO, M. GARCÍA AND T. BAUMGARTNER, 2009. Rapid reorganization in ocean biogeochemistry off Peru towards the end of the little ice age, *Biogeosciences Discuss* 5 (2008), pp. 3919–3943.

GUZMAN, M., M. JACINTO, S. CASTILLO, L. VÁSQUEZ Y E. DELGADO. 2001. Evaluación de la Calidad Acuática en el Área Costera del Callao. Agosto 2000. Instituto del Mar del Perú. Informe Progresivo (138): 3 – 27

HASLE, G.R. & E.E. SIVERTSEN. 1996. Marine Diatoms. En: Identifying Marine Diatoms and Dinoflagellates (Carmelo ed.) Cap. 2, pp 5 -382.

HASLE G.R., 1976. The biogeography of some marine planktonic diatoms, *Deep-Sea Res.*, 23, 319-338.

HELLY & LEVIN, 2004 J. Helly and L. Levin, Global distribution of naturally occurring marine hypoxia on continental margins, *Deep-Sea Research I* 51 (2004), pp. 1159–1168.

HENDEY, N.I. 1964. Bacillariophyceae (Diatoms). En An introductory account of the smaller algae of British Coastal waters. Part 5. London, *Fish Invest.* 4: 1 – 317.

HUNTSMAN, S. A., BRINK, K. H., BARBER, R. T., BLASCO, D. ,1981. The role of circulation and stability in controlling the relative abundance of dinoflagellates and diatoms over the Peru shelf. In: Richards, F. A. (ed.). Coastal upwelling. American Geophysical Union, Washington, D. C., pp. 357-365.

HUSTED, F. 1930. Die Kieselalgen Deutschlands. Österreichs und der Schweiz mit Berücksichtigung der übrigen Länder Europas sowie der angrenzenden Meeresgebiete. En; L. Rabenhorst (Ed). Kryptogamen-Flora von Deutschland Österreich und der Schweiz. I Teil. Akat. Verlagsges. Leipzig, Reprint Johnson Rep. Goop, New York 920 pp.

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ (IMARPE) 2008. Variabilidad Interanual y Decadal de las Condiciones biogeoquímicas en el Mar Peruano. Anuario Científico Tecnológico IMARPE. Enero – Diciembre 2008. Vol 7. pp. 87-90.

ISMENE A. S. ELVERFELDT, C. B. LANGE & J. PÄTZOLD. 2004. Preservation of Siliceous Microplankton in Surface Sediments of the Northern Red Sea. *Marine Micropaleontology*, 51: 193-211.

JIMÉNEZ R., 1976. Oceanografía de la Región Norte del Frente Ecuatorial: Aspectos Biológicos. Reunión de trabajo sobre el Fenómeno conocido como El Niño, Guayaquil, Ecuador, 4-12 de diciembre de 1974, FAO inf. Pesca (185):355-358.

JIMÉNEZ R., 1977. Biomasa y composición del fitoplancton al oeste de las Islas Galápagos, Ecuador, Bol. ERFREN 1(2).

JIMÉNEZ R., Y D. BONILLA, 1980. Composición y distribución de la biomasa del Plancton en el Frente Ecuatorial. *Acta Oceanográfica del Pacífico (INOCAR)*, 1(1): 19-64.

KAMEYA A., W. ELLIOTT, O. MORÓN, B. SARAIVA, E. DELGADO, M. GIRÓN Y E. CÁRCAMO, 1995, I Prospección Bio-Oceanográfica y Pesca en el Callao (Playas Carpayo, Arenilla, Cocos y Mar Brava). Informe Progresivo. Instituto del Mar del Perú. Número 11, Noviembre 1995. pp 4-28.

KONING, E., VAN IPEREN, J.M., VAN RAAPHORST, W., HELDER, W., BRUMMER, G.-J.A., VAN WEERING, T.C.E., 2001. Selective preservation of upwelling-indicating diatoms in sediments off Somalia, NW Indian Ocean. *Deep-Sea Research* 48, 2473–2495.

LANDA, A. 1953. Análisis de muestras diarias de fitoplancton superficial en Chimbote, julio 1951 a junio 1952. *Bol. Cient. Comp. Adm. Guano* 1: 63-75.

LOPES, C., MIX, A., ABRANTES, F., 2006. Diatoms in northeast Pacific surface sediments as paleoceanographic proxies. *Marine Micropaleontology* 60, 45–65.



MACKAY A. W., R.J. FLOWER, A.E. KUZMINA, L.Z. GRANINA, N.L. ROSE, P.G. APPLEBY, J.F. BOYLE & R.W. BATTARBEE. 1998. Diatom Succession Trends in Recent Sediments from Lake Baikal and Their Relation to Atmospheric Pollution and to Climate Change. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. Biological Sciences*. 353(1371):1011- 1055

MARGALEF, R., 1958. Temporal sucesion and spatial heterogeneity in phytoplankton. In: Buzzati-Traverso, A. A. (ed.) *Perspectives in marine Biology*. Univ. California Press: 232-329.

MARGALEF, R. 1978. Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. *Oceanologica Acta*, 1: 493-509.

MOHAN R, S. SHANVAS, M. THAMBAN AND M. SUDHAKAR 2006 Spatial distribution of diatoms in surface sediments from the Indian sector of Southern Ocean *Current Science*, 91(11): 1495-1502.

MORENO, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. Manuales y Tesis SEA, México, 83 p.

NELSON, D.M., TREGUER, P., BRZEZINSKI, M.A., KEYNAERT, A., QUEGUINER, B., 1995. Production and dissolution of biogenic silica in the ocean: Revised global estimates, comparison with regional data and relationship to biogenic sedimentation. *Global Biogeochemical Cycles*, 9: 359-372.

OCHOA, N. y O. GOMEZ. 1981. Variaciones del fitoplancton en el área de Chimbote durante 1977. En: A. Landa (ed): Investigación Cooperativa de la Anchoqueta y su Ecosistema (ICANE) entre Perú y Canadá. Bol. Inst. Mar Perú, Vol. Extraordinario, 119-129.

OCHOA, N. y O. GOMEZ. 1988. Variación espacio temporal del fitoplancton frente al Callao, Perú, en 1986. En: H. Salzwedel y A. Landa (eds): Recursos y dinámica del ecosistema de afloramiento peruano. Bol. Inst. Mar Perú. Vol. Extraordinario, 51-57.

OCHOA, N. y O. GOMEZ 1997. Dinoflagelados del mar peruano como indicadores de masas de aguas durante los años 1982 a 1985. Boletín del Instituto del Mar del Perú 16: 1-60.

OKUDA, Y., YAMAZAKI, T, SATO, S., SAKI, T, AND OIKAWA, N., 1983. Framework of the Weddell Basin inferred from the new geophysical and geological data. Mem. Natl. Inst. Polar Res., Spec. Issue, 28: 93-114.

PENNINGTON TJ, MAHONEY KL, KUWAHARA VS, KOLBER DD, CALIENES R, CHÁVEZ FP. 2006. Primary production in the eastern tropical Pacific: A review. Prog. Oceanogr. 69: 285–317.

PESANTES, F. 1983. Dinoflagelados del fitoplancton del Golfo de Guayaquil. Acta Oceanográfica del Pacífico 2(2): 282-400, Ecuador.

PIZARRO, L; SANCHEZ, P. AYON, J. SOLIS, J. ALFARO Y J. CARAMANTIN 1997. Condiciones oceanográficas del mar peruano durante la primavera de 1996 Crucero Oceanográfico BIC: Humboldt 9611-12 Informe interno DOF. IMARPE.

QUIPUZCOA, L., W. SERRANO, D'L. CUADRA, D. GUTIERREZ, E. ENRIQUEZ, MARQUINA, V. ARAMAYO, W. YUPANQUI. 2007. Cambios en la biomasa bacteriana generados por fluctuaciones del oxígeno disuelto sobre el fondo en sedimentos marinos frente al Callao, periodos 2002/03-2007. Libro de Resúmenes Ampliados del 1er Congreso de Ciencias del Mar del Perú. 27 – 30 de Noviembre del 2007. Lambayeque – Perú. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. pp 168.

RAGUENEAU, O., TREGUER, P., LEYNART, A., ANDERSON, R.F., BRZEZINSKI, M.A., DEMASTER, D.J., DUGDALE, R.C., DYMOND, J., FISCHER, G., FRANCOIS, R., HEINZE, C., MAIER-REIMER, E., MARTIN-JE.ZE.QUEL, V., QUE.GUINER, B., 2000. A review of the Si cycle in the modern ocean: Recent progress and missing gaps in the application of biogenic opal as a paleoproductivity proxy. *Glob. Planet. Change* 26, 317-365.

ROJAS DE MENDIOLA, B. 1966. Relación entre la cosecha estable de fitoplancton, el desove y la alimentación de la anchoveta (*Engraulis ringens* J.), p,60-69. En Memoria 1er Seminario Latino-Americano Sobre el Océano Pacífico Oriental. Univ. Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

ROJAS DE MENDIOLA, B. y M. ESTRADA. 1976. El fitoplancton en el área de Pimentel. Verano de 1972. *Investigación Pesquera*, 40: 463-490.

ROJAS DE MENDIOLA, B. 1981. Seasonal phytoplankton distribution along the Peruvian coast. I: F. A. Richards (ed.), Coastal Upwelling. American Geophysical Union, Washington D. C., 348-356.

ROJAS DE MENDIOLA, B., O. GÓMEZ Y N. OCHOA. 1985. Efectos del Fenómeno El Niño sobre el fitoplancton. En: W. Arntz, A. Landa y J. Tarazona (eds.). "El Niño": Su impacto en la fauna marina. Bol. Inst. Mar Perú-Callao Vol. Extraordinario: 33-40.

ROMERO, O. & HEBBELN, D. 2003. Biogenic silica and diatom thanatocoenosis in surface sediments below the Perú-Chile Current: controlling mechanisms and relationship with productivity in surface waters. *Marine Micropaleontology*, 48, 71-90.

RYVES D. H. JEWSON, M. STURM, R. W. BATTARBEE, R. J. FLOWER, A. W. MACKAY, AND N. GRANIN. 2003. Quantitative and qualitative relationships between planktonic diatom communities and diatom assemblages in sedimenting material and surface sediments in Lake Baikal, Siberia. *Limnology and Oceanography*, 48: 1643–1661.

RYVES, D., S. JUGGINS, C. FRITZ, W. BATTARBEE. 2001. Experimental diatom dissolution and quantification of microfossil in sediments. *Paleoceanography, Palaeoclimatology Paleoecology*, 172: 99 – 113.

RUSSEL & HUNTER, W. D. 1970. *Aquatic Productivity*, Macmillan, London 1-306.

SANCETTA, C. & S. M. SILVESTRI. 1986. Pliocene-Pleistocene evolution of the North Pacific ocean-atmosphere system, interpreted from fossil diatoms. *Paleoceanography*, 1: 163–180.

SANCHEZ, S.; J. TARAZONA; R. FLORES; M. MALDONADO y G. CARBAJAL. 1988. Características del fitoplancton de invierno en Bahía Independencia, Perú. En: H. Salzwedel y A. Landa (eds.): Recursos y Dinámica del ecosistema de afloramiento peruano. Bol. Inst. Mar Perú. Vol. Extraordinario, 57-66.

SANCHEZ, S., E .DELGADO & F. CHANG. 1995. Características del Fitoplancton Superficial en Paita, Chimbote, Callao, Pisco e Ilo (Mopas 9510). Informe Progresivo. (33). Lima ,Perú.

SANCHEZ, S. 1999. El Fitoplancton durante la Prospección de Reclutas de Recursos Pelágicos 9906. Instituto del Mar del Perú. Informe (149): 71-74.

SAUTER, L. AND SANCETTA, C., 1992. Seasonal association of phytoplankton and planktic foraminifera in an upwelling region and their contribution to the seafloor. *Marine Micropaleontology* 18, pp. 263–278.

SCHILER, J. 1933. Dinoflagellatae (Peridineae) in monographischer Behandlung. Teil 1. En L. Rabenhorst (Ed). *Kryptogamen-Flora von Deutschland Oesterreich und der Schewiz*. Reprint Johnson Rep. Goop, New York 10 ( 3,1): 1 - 617 pp.

SCHILER, J. 1937. Dinoflagellatae (Peridineae) in monographischer Behandlung. Teil 2. En L. Rabenhorst (Ed). *Kryptogamen-Flora von Deutschland Oesterreich und der Schewiz*. Reprint Johnson Rep. Goop, New York 10 ( 3,2): 1 - 589 pp.

SCHRADER, H., 1972. Kieselsaure-Skelette in Sedimenten des iberomarokkanischen Kontinentalrandes und angrenzender Tiefsee- Ebenen. "Meteor" Forschungsergeb., Reihe C (8), 10–36.

SCHRADER, H., GERSONDE, R., 1978. Diatoms and silicoflagellates. *Utrecht Micropaleontological Bulletins*, 17: 129–176.

SCHRADER, H. & R. SORKNES. 1990. Spatial and Temporal Variation of Peruvian Coastal Upwelling during the Latest Quaternary. presentado en *Proceedings of the Ocean Drilling Program. Scientific Results*. 112: 391-406.

SCHUETTE, G., SCHRADER, H., 1979. Diatom taphocoenoses in the coastal upwelling area off Western South America. *Nova Hedwigia*, 64: 359–378.

SCHUETTE, G., 1980. Recent marine diatom taphocoenoses off Peru and off Southwest Africa: reflection of coastal upwelling [Ph.D.Thesis]. School of Oceanography, Oregon State University, Corvallis.

SCHUETTE, G., SCHRADER, H., 1981. Diatom taphocoenoses in the coastal upwelling area off south west Africa. *Mar. Micropaleontol.* 6, 131-155

SCHULZ, H. & M. ZABEL (eds.). 2006. *Marine Geochemistry*. 2nd. Edition. Springer, Alemania, 582p.

SEMINA, H. J. 1972. The size of phytoplankton cells in the Pacific Ocean. *International RevueGesampten Hidrobiologie* 57:177-205.

SIFEDDINE, A., GUTIÉRREZ, D., ORTLIEB, L., BOUCHER, H., VELAZCO, F., FIELD, D., VARGAS, G., BOUSSAFIR, M., SALVATTECI, R., FERREIRA, V., GARCÍA, M., VALDES, J., CAQUINEAU, S., MANDENG YOGO, M., CETIN, F., SOLIS, J., SOLER, P., BAUMGARTNER, T., 2008. Laminated sediments from the central Peruvian continental slope: A 500 year record of upwelling system productivity, terrestrial runoff and redox conditions. *Progress in Oceanography* 79, 190-197.

SHANNON, C. & W. WEAVER, 1963. *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press Urbana: 125 pp.

SMAYDA, T.J. 1969. Experimental observations on the influence of temperature, light and salinity on cell division of the marine diatom, *Detonula confervacea* (Cleve) Gran. *J. Phycology*, 5: 150-157.

SOLEDISPA, B., 1987 Estudio de las características sedimentológicas del área comprendida entre Ancón y el canal del Morro (Golfo de Guayaquil): *Acta Oceanográfica del Pacífico*, Inst.Ocean.de la Armada del Ecuador,4(1):171-189.

SOURNIA, A. 1967. Le genre *Ceratium* (Peridinien planctonique) dans le Canal de Mozambique. Contribution a une revision mondiale. Premiere pertie. Vie et Mileu, Ser, A: *Biologie Marine* 18 : 375-499.

STRICKLAND, J. D. H., R. W. EPPLEY & B. ROJAS DE MENDIOLA. 1969. Poblaciones de fitoplancton, nutrientes y fotosíntesis en aguas costeras peruanas. *Bol. Inst. Mar Perú*. 2(1): 1 – 15.

THRONDSSEN, J. Y B. HEIMDAL. 1993. Marine Phytoplankton. A guide to naked Flagellates and Coccolithophorids. Academic Press. Inc. A Division of Harcourt Brace & company. Editor Jonas Carmelo.

TORRES-ZAMBRANO, G., Y TAPIA M. 1998. Distribución del Fitoplancton en el Paso Drake, Bahía Chile Y Estrecho Bransfield durante el verano Austral de 1998 (Antártica). *Acta Antártica Ecuatoriana*, PROANTEC, Ecuador., 4 (1): 101-114.

TREPPKE, F., C. LANGE, B. DORMER, G. FISCHER', G. RUHLANDL AND G. WEFER. 1996. Diatom and Silicoflagellate Fluxes at the Walvis Ridge: An Environment Influenced by Coastal Upwelling in the Benguela System. *Journal of Marine Research*, 54: 991-1016.

UTERMÖHL, H, 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik *Internationale Vereinigung fur theoretische und Angewandte Limnologie Mitteilungen*, 9, 1-38.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION (UNESCO). 1978. Phytoplankton manual Monogr. Oceanogr. *Methodology*: 6-337.

VALDES, J., ORTLIEB, L., AND SIFEDDINE, A. 2003, Variaciones del sistema de surgencia de Punta Angamos (23oS) y la Zona de Mínimo de Oxígeno durante el pasado reciente: una aproximación desde el registro sedimentario de la Bahía Mejillones del Sur. *Rev. Chil.Hist. Nat.* ,76 (3): 347– 362.

VALDÉS, J. SIFEDDINE, A. LALLIER – VERGÈS, E. ORTLIEB, L. 2004. Petrographic and geochemical study of organic matter in surficial laminated sediments from an upwelling system (Mejillones del Sur Bay, Northern Chile). *Organic Geochemistry.*, vol. 35, p. 881 – 894.

VALENCIA M., 1980 Algunas características químicas de los sedimentos del Golfo de Guayaquil. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, INOCAR- Ecuador. Vol.I(I),p:10-18.

VILLAFANE, V E.& F.M.H. REID, 1995 Métodos de Microscopía para la Cuantificación del Fitoplancton. En: ALVEAL K.M., E. FERRARIO,E.C. OLIVERA & E.SAR (Eds), *Manual de Métodos Ficológicos*. Universidad de Concepción, Chile Pp.169 – 185.

ZHUZE, A.P., 1972 Diatoms in the surface layer of sediment in the vicinity of Chile and Perú, *Oceanology*, 12: 697-705.

ZUTA, S. Y GUILLEN, O. 1970. Oceanografía de las aguas costeras del Perú. *Boletín Instituto del Mar del Perú*, 2, 157-324.

## **11. ANEXOS**



ANEXO 1 Grupos ecológicos de diatomeas definidos en base a su hábitat según Cupp

(1943), Koning et al., (2001) y Romero & Hebbeln (2003).

Especies de surgencia	Planctónicas costeras	Agua frías	Aguas cálidas	Bentónicas marinas
<i>Chaetoceros affinis</i>	<i>Actinocyclus octonarius</i>	<i>Chaetoceros concavimicus</i>	<i>Azpeitia nodulifer</i>	<i>Actinopterychus senarius</i>
<i>Chaetoceros compressus</i>	<i>Actinocyclus sp.</i>	<i>Thalassiosira mendiolana</i>	<i>Azpeitia sp.</i>	<i>Actinopterychus splendens</i>
<i>Chaetoceros debilis</i>	<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i>	<i>Cerataulina pelagica</i>	<i>Achnanthes longipes</i>
<i>Chaetoceros didymus</i>	<i>Asteromohalus elegans</i>	<i>Thalassiosira pacifica</i>	<i>Chaetoceros atlanticus</i>	<i>Biddulphia alternans</i>
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Asteromphalus flabellatus</i>	<i>Thalassiosira rotula</i>	<i>Detonula pumila</i>	<i>Cocconeis sp.</i>
Espora de resistencia de <i>Chaetoceros</i>	<i>Asteromphalus heptactis</i>	<i>Thalassiosira sp.</i>	<i>Fragilariopsis doliolus</i>	<i>Coscinodiscus asteromphalus</i>
<i>Thalassionema bacillare</i>	<i>Asteromphalus hoekeri</i>	<i>Chaetoceros convolutus</i>	<i>Hemidiscus cuneiformis</i>	<i>Coscinodiscus obscurus</i>
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Bacteriastrum delicatulum</i>	<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	<i>Leptocylindrus danicus</i>	<i>Coscinodiscus sp.</i>
Especies de Pre-surgencia	<i>Bacteriastrum hyalinum</i>	<i>Corethron cnophilum</i>	<i>Leptocylindrus mediterraneus</i>	<i>Diplomenora peruviana</i>
<i>Rhizosolenia hebetata</i>	<i>Coscinodiscus centralis</i>		<i>Lioloma pacificum</i>	<i>Entomoneis alata</i>
<i>Rhizosolenia imbricata</i>	<i>Coscinodiscus marginatus</i>		<i>Odontella aurita</i>	<i>Entomoneis sp.</i>
<i>Chaetoceros peruvianus</i>	<i>Cyclotella striata</i>		<i>Planktoniella sol</i>	<i>Grammatophora marina</i>
	<i>Cylindrotheca closterium</i>		<i>Pleurosigma sp.</i>	<i>Grammatophora angulosa</i>
	<i>Chaetoceros decipiens</i>		<i>Rhizosolenia bergonii</i>	<i>Grammatophora oceanica</i>
	<i>Chaetoceros curvisetus</i>		<i>Roperia tessellata</i>	<i>Gyrosigma sp.</i>
	<i>Chaetoceros messanensis</i>			<i>Licmophora abbreviata</i>
	<i>Chaetoceros teres</i>			<i>Opephora marina</i>
	<i>Chaetoceros vistulae</i>			
	<i>Ditylum brightwellii</i>			
	<i>Eucampia zoodiacus</i>			
	<i>Guinardia delicatula</i>			
	<i>Guinardia striata</i>			
	<i>Hemiaulus sinensis</i>			
	<i>Hemiaulus sp.</i>			
	<i>Lithodesmium undulatum</i>			
	<i>Pseudonitzschia delicatissima</i>			
	<i>Pseudonitzschia delicatissima</i>			
	<i>Pseudosolenia calcar-avis</i>			
	<i>Rhizosolenia castracanei</i>			
	<i>Stephanophysa turris</i>			
	<i>Thalassiosira anguste-lineata</i>			
	<i>Thalassiosira angulata</i>			
	<i>Thalassiosira eccentrica</i>			
	<i>Thalassiosira subtilis</i>			

ANEXO 2. Grupos de disolución de diatomeas (según Schrader et al., 1993)

Fácil disolución	Ligeramente resistentes a la disolución	Resistentes a la disolución
<i>Achnanthes longipes</i> <i>Asteromphalus elegans</i> <i>Asteromphalus flabellatus</i> <i>Asteromphalus heptactis</i> <i>Bidulphia alternans</i> <i>Cocconeis sp.</i> <i>Diplomenora peruviana</i> <i>Ditylum brightwellii</i> <i>Entomoneis alata</i> <i>Entomoneis sp.</i> <i>Fragilariopsis doliolus</i> <i>Grammatophora marina</i> <i>Lithodesmiun undulatum</i> <i>Opephora marina</i> <i>Roperia tessellata</i> <i>Skeletonema costatum</i> <i>Stephanophysis turris</i> <i>Thalasiosira anguste-lineata</i> <i>Thalasiosira eccentrica</i>	<i>Rhizosolenia bergonii</i> <i>Pseudosolenia calcar-avis</i> <i>Planktoniella sol</i> <i>Rhizosolenia hebetata</i> <i>Thalassionema nitzschioides</i> <i>Azpeitia sp.</i> <i>Actinocyclus sp.</i> <i>Actinoptychus splendens</i> <i>Actinoptychus senarius</i> <i>Gyrosigma sp.</i> <i>Pleurosigma sp.</i> <i>Coscinodiscus marginatus</i> <i>Coscinodiscus asteromphalus</i> <i>Coscinodiscus obscurus</i> <i>Coscinodiscus sp.</i> Espora de resistencia de Chaetoceros	<i>Actinocyclus octonarius</i> <i>Azpeitia nodulifer</i> <i>Cyclotella striata</i> <i>Dictyocha fibula</i> <i>Dictyocha messamensis</i> <i>Distephanus octonarius</i>

ANEXO 3. Composición, abundancia ( $\text{cel.m}^{-3}$ ) y abundancia relativa (%) de especies de fitoplancton por arrastre vertical en las estaciones de muestreo

Estación	M772-003	M772-005	M772-014	M772-020	M772-024	M772-026	M772-028	M772-029	M772-031	M772-045	M772-047	M772-050	M772-054	M772-056	M772-059	M772-060	M772-062	M772-064	M772-072	M772-075	M772-076	TOTAL (N°Cel/m3)	Abund. rel.(%)	
DIATOMEAS																								
<i>Actinocyclus splendens</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12231	0.14	
<i>Asteromphalus heptactis</i>	9901	1747	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1747	1165	0	0	2912	0.03	
<i>Amphipora</i> sp.	6407	49505	2330	31450	4077	0	0	0	1165	0	0	2330	0	0	0	0	0	0	0	0	582	21549	0.24	
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	0	0	0	0	99592	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	191031	2.15	
<i>Bacteriasastrum delicatulum</i>	0	0	0	0	0	0	7571	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7571	0	0	0	0	16890	0.19	
<i>Cerataulina pelagica</i>	6989	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6989	0.08	
<i>Chaetoceros affinis</i>	7571	4659	0	5824	14560	2912	0	0	5242	0	0	27373	0	0	0	0	0	17472	0	17472	0	128878	1.46	
<i>Chaetoceros atlanticus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7571	0	15725	0	61153	0.69	
<i>Chaetoceros elbanicus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5242	0	0	0	54164	0.61	
<i>Chaetoceros compressus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9901	0.11	
<i>Chaetoceros decipiens</i>	11066	3494	6407	0	14560	0	0	0	0	0	0	5242	0	0	0	0	0	0	2912	0	0	0	57659	0.65
<i>Chaetoceros debilis</i>	27956	5824	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85614	0	0	0	0	0	0	0	0	0	195690	2.20	
<i>Chaetoceros diadema</i>	0	0	0	81538	162493	8154	0	0	8154	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	277810	3.13	
<i>Chaetoceros dydimus</i>	5824	0	0	6989	8736	0	0	0	7571	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29121	0.33	
<i>Chaetoceros messanensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37857	0.43	
<i>Chaetoceros parvulus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4659	0.05	
<i>Chaetoceros lauderi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1747	0	0	1747	0.02	
<i>Chaetoceros loricatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54164	0.61	
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	4659	0	0	0	0	12231	0	0	2330	0	0	19802	0	0	0	0	0	1747	0	6989	0	26209	0.30	
<i>Chaetoceros peruvianus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4659	0	0	0	7571	0.09	
<i>Climacodium frauenfeldianum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3494	0	0	0	5824	0.07	
<i>Corethron histrix</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8154	0.09	
<i>Coscinodiscus granii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	582	0.01	
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	582	0.01	
<i>Coscinodiscus perforatus</i>	3494	0	1165	1747	3494	1165	0	0	6989	0	0	1165	0	0	0	0	0	3494	0	582	0	23296	0.26	
<i>Coscinodiscus wailesii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6407	0.07	
<i>Cylindrotheca closterium</i>	1747	11648	2330	0	0	0	15725	22132	2330	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58824	0.66	
<i>Dactilolepis fragilis</i>	1747	0	0	0	0	0	0	0	2330	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12813	0.14	
<i>Dactilolepis phuketensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15725	0	0	0	15725	0.18	
<i>Detonula pumila</i>	9319	25626	93768	307513	106551	243448	0	0	0	0	0	1672103	34362	0	0	0	0	0	0	0	0	3085614	34.73	
<i>Dytilum brightwellii</i>	0	1165	1747	0	1165	0	0	0	0	11648	10483	0	1747	0	0	0	0	3494	0	582	0	44263	0.50	
<i>Entomoneis alata var alata</i>	2330	1747	11066	2912	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6407	0	0	0	19220	0.22	
<i>Eucampia zoodiacus</i>	19802	0	26791	0	224811	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17472	0	0	0	544554	6.13	
<i>Fragilariopsis dolotulus</i>	11648	0	4659	1747	16308	2912	22132	0	16308	0	0	0	0	0	0	0	0	17472	3494	0	1747	186372	2.10	
<i>Guinardia flaccida</i>	0	2330	0	0	0	1747	0	0	6989	0	0	0	0	0	0	0	0	15143	0	14560	57076	153174	1.72	
<i>Guinardia striata</i>	0	20384	0	0	4659	7571	0	0	0	0	0	582	0	0	0	0	0	78043	0	24461	53582	222481	2.50	
<i>Gyrodinium</i> sp.	0	4077	582	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5824	0.07	
<i>Helicotheca tamesis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8736	0.10	
<i>Hemiaulus menbracaeus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15725	18337	26209	0	15317	1.30	
<i>Hemiaulus sinensis</i>	12813	6989	63395	103087	63483	22714	19802	0	1747	0	0	2912	13978	0	0	0	0	6989	1165	0	0	353524	3.98	
<i>Hemidiscus cuneiformis</i>	0	0	0	0	0	0	5242	0	0	0	0	0	0	0	12231	0	0	2912	1165	0	1165	68725	0.77	
<i>Lecocilindrus danicus</i>	0	0	71637	89109	47175	0	0	0	8154	0	0	14560	0	0	0	0	0	6989	0	0	0	237624	2.67	
<i>Lecocilindrus cf. danicus</i>	0	0	13978	0	11648	0	0	0	69897	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2330	0	0	25626	0.29	
<i>Lecocilindrus mediterraneus</i>	16308	0	0	5242	15143	4077	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50087	0	0	0	167734	1.89	
<i>Licmophora abbreviata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6989	0.08	
<i>Lithodesmium undulatum</i>	5242	0	5824	16308	61736	0	0	0	0	0	0	47175	0	0	0	0	0	0	1165	0	0	147932	1.67	
<i>Obolella aurita</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1747	0	0	0	2912	0.03	
<i>Planktoniella sol</i>	3494	4077	5824	1165	1747	24461	10483	11648	8736	0	0	0	0	0	0	0	0	6989	1165	15143	5824	149097	1.68	
<i>Pleurosigma</i> sp.	5824	0	1747	1165	0	582	0	0	0	0	0	582	0	0	0	0	0	3494	1165	0	0	30285	0.34	
<i>Proboscia alata cf. gracillima</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4659	0	13395	6989	57076	0.64	
<i>Protoschia alata cf. indica</i>	0	1747	6407	1165	5242	0	0	0	6989	0	0	0	7571	0	0	0	5242	5242	1165	1165	14560	141526	1.59	
<i>Pseudonitzschia delicatissima</i>	0	403611	0	0	0	0	72801	35527	17472	0	0	8154	0	0	0	0	10483	0	1747	0	0	548049	6.17	
<i>Pseudonitzschia pungens</i>	15725	46593	8736	5824	0	2330	0	25044	10483	10483	9901	8154	8736	13395	0	0	0	8736	1747	0	0	287129	3.23	
<i>Pseudosolenia calcar avis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1165	0	0	0	30868	0.35	
<i>Rhizosolenia bergonii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5824	0	0.09		
<i>Rhizosolenia cylindrus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10483	0	0.12		
<i>Rhizosolenia chuni</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8736	0	0.10		
<i>Rhizosolenia robusta</i>	1165	0	582	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	582	0	1165	44846	0.50	
<i>Rhizosolenia setigera</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1165	0	0.01	
<i>Rhizosolenia styliformis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1747	11648	7571	113570	0.85	
<i>Skelletonema costatum</i>	6407	24461	4077	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22714	0	0	5824	40769	0	0	75713	0.85	
<i>Stephanopyxis palmeriana</i>	1747	0	2330	0	1747	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9901	0	0	0	10483	0.12	
<i>Stephanopyxis turris</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4659	0.05	
<i>Thalassionema frauenfeldii</i>	0	0	0	0	8154	3494	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22132	0.25	
<i>Thalassionema nitzschoides</i>	2330	0	4077	0	0	0	0	0	11066	0	0	1165	5242	0	0	0	0	0	6989	0	1165	58241	0.66	
<i>Thalassiosira anguste lineata</i>	36692	2330	2912	0	114735	0	0	0	15725	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	220734	2.48	
<i>Thalassiosira angulata</i>	5824	0	3494	0	2912	0	0	0	12231	0	0	4077	54164	0	0	0	14560	0	0	0	0	102504	1.15	
<i>Thalassiosira rotula</i>	7571	0	0	1747	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7571	0.	

Estaciones	M772-003	M772-005	M772-014	M772-016	M772-020	M772-024	M772-026	M772-028	M772-029	M772-031	M772-045	M772-047	M772-050	M772-052	M772-053	M772-054	M772-056	M772-059	M772-060	M772-062	M772-064	M772-067	M772-069	M772-070	M772-072	M772-075	M772-076	TOTAL (N°Cel/m3)	Abund. rel (%)		
DINOFLAGELADOS																															
<i>Artisolenia bidentata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9319	0.31		
<i>Alexandrium</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2912	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6989	0	0	8736	0	0	1747	20384	0.67		
<i>Ceratium azoricum</i>	4659	0	582	0	0	0	0	0	0	4659	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9901	0.33		
<i>Ceratium buceros</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6989	0.23		
<i>Ceratium breve</i> var <i>paralellum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1165	0	9319	0	0	0	0	0	0	0	0	10483	0.35		
<i>Ceratium candelabrum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6407	0	0	0	0	12813	0	0	8736	34945	1.15			
<i>Ceratium furca</i>	15143	13978	10483	13395	8736	15725	12231	0	0	0	18055	16890	9901	0	0	14560	18055	0	0	0	13978	0	0	0	0	0	0	0	181130	5.99	
<i>Ceratium lusus</i> var <i>fusus</i>	14560	4659	30285	39604	26791	28538	41351	23296	34362	37857	0	0	0	20967	0	30868	34362	0	0	26209	0	15143	0	0	22714	18055	12813	475830	15.72		
<i>Ceratium horridum</i>	3494	0	1165	0	5242	4077	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15725	0	3494	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29703	0.98		
<i>Ceratium macroceros</i>	8736	0	2912	6407	12231	8736	5824	0	16890	26209	14560	13978	13978	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3494	0.12	
<i>Ceratium strictum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	136284	4.50		
<i>Ceratium pentagonum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10483	9901	0	11648	0	11066	0	15143	8736	0	8154	1747	9901	0.33		
<i>Ceratium tipos</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2912	0	0	0	0	11066	0	0	0	0	0	2912	94933	3.14	
<i>Ceratium trichoceros</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8736	0	0	0	0	0	0	0	13978	0.46	
<i>Ceratocorys horrida</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5242	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5242	0.17		
<i>Dinophysis acuminata</i>	8154	8736	2912	6989	11066	14560	9901	0	0	7571	0	0	0	8154	0	0	0	0	0	20384	0	0	6989	0	0	0	0	0	110076	3.64	
<i>Dinophysis caudata</i>	7571	6407	6989	5824	8154	6989	8154	0	0	10483	0	0	0	0	0	12813	0	0	11066	0	0	5824	0	0	0	0	0	0	0	97263	3.21
<i>Dinophysis ovum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5242	0.17		
<i>Dinophysis rotundata</i>	6989	3494	4659	6407	8736	6989	10483	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6407	7571	0	0	10483	0	0	0	0	72219	2.39	
<i>Dinophysis mitra</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10483	7571	0	0	0	0	0	6989	0	0	0	0	0	0	0	14560	0.48	
<i>Diplopetopsis minor</i>	4659	4077	5242	0	3494	4659	6989	0	0	6407	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8154	0	0	0	0	0	0	0	0	71054	2.35	
<i>Gonyaulax polygramma</i>	2912	7571	1165	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8736	9319	11648	0	6989	0	0	12813	0	0	6407	74549	2.46		
<i>Oxyphysis oxytoxoides</i>	4659	582	1165	0	0	0	2330	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7571	0	9901	0	0	0	0	0	0	0	0	26209	0.87	
<i>Oxytoxum</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7571	0.25		
<i>Onithocercus steinii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20384	0.67		
<i>Podolampas bipes</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14560	0	11066	0	0	0	0	0	0	0	0	6989	11066	0	0	0	0	0	7571	0.25	
<i>Prorocentrum micans</i>	0	1165	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6989	20384	0.67	
<i>Prorocentrum gracile</i>	0	4077	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11066	0	0	0	0	0	0	0	0	6989	11066	0	0	0	0	0	35527	1.17	
<i>Protoperidinium canicum</i>	2330	10483	7571	0	9319	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9319	0	0	0	0	0	6407	6989	4077	0	0	0	0	6989	156669	5.18
<i>Protoperidinium claudicans</i>	2912	0	2330	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10483	0	0	0	0	0	4659	0	0	0	0	0	0	0	0	34362	1.14	
<i>Protoperidinium crassipes</i>	0	4659	0	5242	5242	0	0	0	8154	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51835	1.71	
<i>Protoperidinium depressum</i>	6407	4659	5242	11066	9319	12231	0	11066	10483	0	0	0	8154	0	12813	0	6407	0	0	11066	7571	4659	0	0	0	0	0	0	15725	0.52	
<i>Protoperidinium divergens</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2330	0	0	4659	0	0	0	0	0	0	82120	2.71	
<i>Protoperidinium excentricum</i>	6989	0	1165	6989	2912	6407	5242	0	0	6407	0	0	0	0	8154	0	0	0	0	0	0	4659	0	2912	0	0	0	0	11066	129295	4.27
<i>Protoperidinium granii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2912	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44263	1.46	
<i>Protoperidinium grande</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2912	0	4659	0	0	2330	0	0	0	18055	0.60	
<i>Protoperidinium globulus</i>	10483	9319	7571	0	10483	0	8154	0	8736	0	0	0	0	0	0	0	0	5242	0	0	5242	0	0	0	0	0	0	0	17472	0.58	
<i>Protoperidinium leonis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8736	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9901	0.33		
<i>Protoperidinium longispinum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	71637	2.37		
<i>Protoperidinium mendiolae</i>	0	0	1165	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2330	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3494	0.12	
<i>Protoperidinium minutum</i>	2330	0	3494	6989	4659	0	6407	13395	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						



Estaciones	M772-003	M772-005	M772-014	M772-016	M772-020	M772-024	M772-026	M772-028	M772-029	M772-031	M772-045	M772-047	M772-050	M772-052	M772-053	M772-054	M772-056	M772-059	M772-060	M772-062	M772-064	M772-067	M772-069	M772-070	M772-072	M772-075	M772-076	Frec. Absoluta (%)	Frec. Relativa (%)		
DINOFLAGELADOS																															
<i>Arthrosolenia bidentata</i>										X											X					X		3	11		
<i>Alexandrium</i> sp.			X						X																	X		5	19		
<i>Ceratium azoricum</i>									X																			4	15		
<i>Ceratium buceros</i>																									X			2	7		
<i>Ceratium breve</i> var <i>parallelum</i>																												3	11		
<i>Ceratium cardealabrum</i>																												5	19		
<i>Ceratium dens</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X												X		14	52		
<i>Ceratium furca</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X																	X		20	74		
<i>Ceratium lusus</i> var <i>lusus</i>	X			X																								6	22		
<i>Ceratium horridum</i>	X			X																								2	7		
<i>Ceratium macroceros</i>			X	X	X	X	X	X	X		X	X	X															13	48		
<i>Ceratium strictum</i>																												3	11		
<i>Ceratium pentagonum</i>																												11	41		
<i>Ceratium lipos</i>																												2	7		
<i>Ceratium trichoceros</i>																												4	15		
<i>Ceratocorys horrida</i>																												2	7		
<i>Diapocorys horrida</i>																												13	48		
<i>Diaphysis acuminata</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X																			13	48		
<i>Diaphysis caudata</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X																			2	7		
<i>Diaphysis ovum</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X																			11	41		
<i>Diaphysis rotundata</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X																			3	11		
<i>Diaphysis milita</i>	X	X	X		X	X	X	X	X																			12	44		
<i>Diplopetopsis minor</i>	X	X	X		X	X	X	X	X																			11	41		
<i>Gonyaulax polygramma</i>	X	X	X		X	X	X	X	X																			7	26		
<i>Oxypheis oxytoroides</i>	X	X	X		X	X	X	X	X																			2	7		
<i>Oxytoxum</i> sp.																												4	15		
<i>Ornithocercus steinii</i>																												6	22		
<i>Podolampas bipes</i>																												15	56		
<i>Procerentrum micans</i>		X									X																	7	26		
<i>Procerentrum gracile</i>		X																										8	30		
<i>Pratoperidinium conicum</i>																												4	15		
<i>Pratoperidinium claudicans</i>		X	X		X																							11	41		
<i>Pratoperidinium crassipes</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X																			16	59		
<i>Pratoperidinium depressum</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X																			5	19		
<i>Pratoperidinium divergens</i>	X		X	X	X	X	X	X	X																			9	33		
<i>Pratoperidinium excentricum</i>	X		X	X	X	X	X	X	X																			6	22		
<i>Pratoperidinium granii</i>																												4	15		
<i>Pratoperidinium grande</i>																												3	11		
<i>Pratoperidinium globulus</i>	X	X	X		X		X		X																			9	33		
<i>Pratoperidinium leonis</i>		X			X		X		X																			3	11		
<i>Pratoperidinium longispinum</i>																												3	11		
<i>Pratoperidinium meridionale</i>																												7	26		
<i>Pratoperidinium minutum</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X																			5	19		
<i>Pratoperidinium obtusum</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X																			9	33		
<i>Pratoperidinium oceanicum</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X																			14	52		
<i>Pratoperidinium pelliculum</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X																			7	26		
<i>Pratoperidinium pentagonum</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X																			5	19		
<i>Pratoperidinium pyriforme</i>																												14	52		
<i>Pratoperidinium steinii</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X																			3	11		
<i>Pyrocystis lunula</i>	X	X																										7	26		
<i>Pyrophacus</i> sp.																												21	78		
<i>Scirpsella trochoidea</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	28	100		
<b>SILICOFLAGELADOS</b>																															
<i>Dicliocha fibula</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	28	100		
<i>Cyclacis octonaria</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	28	100		

Anexo 5. Densidad de diatomeas por especie (cel.L<sup>-1</sup>) a diferentes profundidades en muestras de columna de agua en las estaciones de muestreo.

Estaciones	M772-005					M772-022					M772-028					M772-045					M772-054									
	Profundidad (m)					10	20	15	20	25	30	40	50	5	10	15	20	25	30	40	50	5	10	15	20	25	30	40	50	
DIATOMEAS																														
<i>Actinocyclus splendens</i>																														
<i>Asteromphalus heptactis</i>																														
<i>Amphipora</i> sp.																														
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	80																													
<i>Azpeitia nodulifera</i>	1060	260	980			60	160	80																						
<i>Bacillariastrum delicatulum</i>																														
<i>Ceraulonia pelagica</i>	140																													
<i>Chaetoceros affinis</i>	160	1180	600				920	1340																						
<i>Chaetoceros atlanticus</i>																														
<i>Chaetoceros eborii</i>																														
<i>Chaetoceros compressus</i>	920																													
<i>Chaetoceros decipiens</i>																														
<i>Chaetoceros debilis</i>	2020																													
<i>Chaetoceros diadema</i>																														
<i>Chaetoceros dydimus</i>	100	80	240	60		1320	1660	540		140																				
<i>Chaetoceros messanensis</i>																														
<i>Chaetoceros lauderi</i>	100																													
<i>Chaetoceros laschnicus</i>																														
<i>Chaetoceros lorentzianus</i>																														
<i>Chaetoceros peruvianus</i>	80																													
<i>Chaetoceros socialis</i>	740	80	80																											
<i>Esporas</i> resistencia <i>Chaetoceros</i>																														
<i>Climacodum frauenfeldianum</i>																														
<i>Corethron histrix</i>																														
<i>Coscinodiscus granii</i>																														
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	40																													
<i>Coscinodiscus narginaus</i>																														
<i>Coscinodiscus perforatus</i>	80																													
<i>Coscinodiscus vellesi</i>																														
<i>Coscinodiscus sp</i>																														
<i>Cylindrotheca closterium</i>	340	140	200	180		20																								
<i>Dactylosolen fragillissimus</i>																														
<i>Dactylosolen phuketensis</i>																														
<i>Detonula pumila</i>																														
<i>Ditylum brightwellii</i>	120	320	220			860																								
<i>Ectomorphe alata</i> var <i>alata</i>	60																													
<i>Eucampia zoodiacus</i>	120																													
<i>Fraxillaria dolioleus</i>	340																													
<i>Guillardia flaccida</i>	80																													
<i>Guillardia striata</i>	40	20	80																											
<i>Gyrodigma</i> sp.																														
<i>Helicotheca tamesis</i>																														
<i>Hemiaulus membranaceus</i>																														
<i>Hemiaulus sinensis</i>	240																													
<i>Hemidiscus cureiformis</i>																														
<i>Lectocillindrus danicus</i>	940																													
<i>Lectocillindrus cf. danicus</i>	260																													
<i>Lectocillindrus mediterraneus</i>																														
<i>Lichophora abbreviata</i>																														
<i>Lithodesmium undulatum</i>																														
<i>Navicula</i> sp.																														
<i>Odonella</i> sp.																														
<i>Odonella aurita</i>																														
<i>Pennales</i>																														
<i>Planxtonella</i> sp.																														
<i>Pleurosigma</i> sp.	80																													
<i>Pseudoditylum tricornutum</i>																														
<i>Proboscia alata</i> cf. <i>gracillima</i>																														
<i>Proboscia alata</i> cf. <i>indica</i>																														
<i>Pseudonitzschia delicatissima</i>	120500	100	2140	2580	100	80	100																							
<i>Pseudonitzschia purgens</i>	1120																													
<i>Pseudosolenia calcar avis</i>																														
<i>Rhizosolenia bergonii</i>																														
<i>Rhizosolenia cylindrus</i>																														
<i>Rhizosolenia chuni</i>																														
<i>Rhizosolenia robusta</i>																														
<i>Rhizosolenia setigera</i>																														
<i>Rhizosolenia styliformis</i>																														
<i>Rhizosolenia tessellata</i>																														
<i>Roperia tessellata</i>																														
<i>Skeletonema costatum</i>																														
<i>Stephanopyxis costatum</i>	2000	200	840			320	360	80																						
<i>Stephanopyxis palmeriana</i>																														
<i>Stephanopyxis turris</i>																														
<i>Thalassiosira frauenfeldii</i>																														
<i>Thalassiosira nitzschoides</i>	180																													





ANEXO 6. Composición y abundancia relativa total (%) del fitoplancton silicio en sedimento superficial en frotis de sedimento (smear slides) en las estaciones de muestreo.

ESTACIONES		M772-002	M772-005	M772-022	M772-024	M772-026	M772-028	M772-029	M772-031	M772-045	M772-047	M772-050	M772-052	M772-054	M772-056	M772-059	M772-060	M772-064	M772-067	M772-069	M772-070	M772-071	M772-072	M772-075	Total	Abund. relativa(%)
Actinocyclus octanarius Actinocyclus octanarius var. tenella Actinocyclus senarius Asteromphalus fiabellatus Azpeitia Tabularis Azpeitia nodulifer Actinoptychus splendens Actinoptychus vulgaris Actinoptychus quinarius Bidulphia alternans Coscinodiscus perforatus Coscinodiscus sp. Coscinodiscus oculus- iridis Cyclotella striata Delphineis surirella Delphineis sp. Entomoneis alata var alata Fragilariopsis doliulus Gramatophora marina Hemidiscus cuneiformis Navicula sp. Odontella langicruris Odontella aurita Lithodesmium undulatum Lectocylindrus danicus Proboscia alata var alata Pseudonitzschia pungens Raperia tessellata Rhizosolenia styliformis Rhizosolenia hebetata Rhizosolenia bergonii Skeletonema costatum Thalassionema nitzschoides var nitzs Thalassionema nitzschoides var parva Thalassionema bacillare Thalassionemafraunfeldii Thalassiosira sp. Thalassiosira anguste - lineata Thalassiosira rotula Thalassiosira angulata Espora chaetoceros TOTAL DIATOMEAS Dictyocha fibula Dictyocha messanessi Dictyocha octanarius TOTAL SILICOFIAGELADOS Espiçula esponja Radiolarios TOTAL FITOPLANCTON	50	22	2	10	3	7	7	5	0	5	0	0	7	9	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	121	1,23
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0,06
	5	35	12	34	0	26	0	0	0	7	0	24	0	1	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	164	1,67
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0,01	
	5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	1	0	1	0	0	15	0,15	
	16	0	9	9	9	0	0	0	3	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	59	0,60
	3	0	0	9	0	0	0	0	0	0	7	0	17	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	0,38
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,01
	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	39	0,40	
	4	17	6	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	0,39
	7	0	2	11	0	0	6	0	0	1	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0	56	0,57	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	1	14	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	42	0,43
	14	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	7	48	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	14	86	0,88
	16	82	25	28	59	33	33	33	27	0	39	0	70	28	0	0	2	0	55	0	31	0	0	0	495	5,04
	14	81	13	0	0	0	0	0	0	0	7	18	30	0	0	0	15	0	15	0	1	0	0	1	195	1,99
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0	0	0	43	0,44
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	0	0	34	0	0	54	0	0	0	0	0	0	0	0	140	1,43
	0	44	0	14	0	40	0	40	30	0	0	0	6	16	0	0	0	0	4	0	0	0	36	16	206	2,10
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	53	0	0	0	55	0,56
	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0	25	0,25
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	4	11	0,11	
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	11	0,11
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	21	0,21	
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0,06
	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	12	0,12
	0	0	1	8	0	0	0	1	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	0,26
	0	5	26	26	0	0	0	5	0	0	39	0	0	0	0	56	0	1	0	5	15	0	0	0	178	1,81
	6	35	25	15	77	39	39	39	17	35	12	0	20	1	0	1	18	0	0	0	0	38	0	0	339	3,45
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	10	0	0	1	15	10	42	96	0,98
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	26	0	14	0	10	10	2	20	43	10	24	24	185	1,88
	0	1	4	8	0	0	0	9	14	0	6	0	12	39	0	0	33	5	35	17	22	0	25	27	257	2,62
	13	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	0	0	0	7	0	24	0	81	0,83
239	470	179	124	95	172	193	172	193	42	174	113	241	239	74	0	185	140	299	55	56	12	77	60	3460	35,25	
14	124	32	8	0	23	26	23	26	63	40	26	35	9	33	33	246	0	41	35	68	52	0	33	27	971	9,89
1	0	24	6	0	12	0	12	1	0	43	0	3	0	0	0	0	0	33	0	0	277	0	0	400	4,07	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	34	54	0	1	90	0,92	
22	19	14	36	0	3	0	3	3	0	12	0	7	8	45	14	26	2	3	82	0	4	64	39	403	4,11	
0	26	6	0	0	0	0	0	16	0	0	24	6	0	0	0	28	0	0	0	0	40	0	0	146	1,49	
0	62	8	6	0	17	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	13	0	0	0	0	0	117	1,19	
0	0	5	0	0	1	15	1	15	0	0	0	21	0	0	0	12	0	44	0	0	0	0	0	98	1,00	
64	200	13	11	0	25	0	25	0	87	6	47	1	0	0	38	0	0	4	0	57	0	10	7	570	5,81	
521	1223	406	386	234	419	366	419	366	328	408	292	500	389	389	300	340	295	277	541	321	257	546	311	264	9304	
1	40	0	7	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	11	0	0	0	0	74	0,75
28	16	14	29	0	8	15	8	15	0	0	0	1	20	0	17	0	53	0	0	1	0	0	1	203	2,07	
6	30	0	3	73	0	0	0	0	0	0	15	0	1	0	24	32	0	0	0	0	47	0	4	235	2,39	
35	86	14	39	73	8	15	8	15	13	0	15	1	21	0	41	32	53	2	0	12	47	0	5	512		
9	441	0	9	0	0	0	0	27	0	6	0	30	0	0	0	0	32	0	0	12	27	38	27	658	6,70	
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	11	0	12	10	44	0,45	
556	1309	420	425	307	427	307	427	381	341	408	307	501	410	410	300	381	327	330	543	321	269	593	311	269	10518	100,00

ANEXO 7. Composición y abundancia relativa (%) por especies del fitoplancton silicio en sedimento superficial en frotis de sedimento (smear slides) en las estaciones de muestreo.

ESTACIONES		M772-002	M772-005	M772-022	M772-024	M772-026	M772-028	M772-029	M772-031	M772-045	M772-047	M772-050	M772-052	M772-054	M772-056	M772-059	M772-060	M772-064	M772-067	M772-069	M772-070	M772-071	M772-072	M772-075
BACILLARIOPHYTA																								
Actinocyclus octonarius	8,99	1,68	0,48	2,35	0,98	1,64	1,31	1,23				1,40	2,20			0,31								0,37
Asteromphalus flabellatus																								
Azpeitia tabularis	0,90			0,24												1,84		0,30			0,37			
Azpeitia nodulifer	2,88		2,14	2,12			0,79	1,72													5,58			
Actinocyclus octonarius var. Tenella	0,72																							
Actinoptychus plendens	0,54			2,12				1,72				3,39	0,24											
Actinoptychus vulgaris	0,18																							
Actinoptychus quinarius	0,72			0,24				10,75																0,37
Actinoptychus senarius	0,90	2,67	2,86	8,00		6,09		1,72				4,79	0,24					3,68						
Biddulphia alternans	0,72	1,30	1,43					3,26					0,24											
Coscinodiscus perforatus	1,26		0,48	2,59		1,41					3,95											4,50		
Coscinodiscus sp.								7,33			4,56						0,61							
Coscinodiscus.oculus-iridis	2,52			0,24				2,28			12,63	0,24					0,30							5,20
Cyclotella striata	2,88	6,26	5,95	6,59	19,22	7,73	7,09	9,56				13,97	6,83			0,61		10,13		11,52				
Delphineis surirella	2,52	6,19	3,10					1,72			5,86	5,99				4,59		2,76		0,37				0,37
Delphineis sp.								7,04													3,20			
Enthomoneis alata var alata								15,25																
Fragillariopsis doliolus		3,36		3,29		9,37	7,87				8,95	1,20	3,90					0,74				11,58		5,95
Grammatophora marina													0,49								8,94			
Hemidiscus cuneiformis				0,71																4,05				
Navicula sp.	0,54																							1,49
Odontella langicruri	1,26																							
Odontella aurita	0,54																							
Lithodesmium undulatum	1,08																							
Lectocylindrus danicus				2,59																	0,37			
Proboscia alata var alata			0,24	1,88		0,23	4,20																	
Pseudonitzschia pungens		0,38	6,19	6,12		1,17		9,56																
Roperia tessellata	1,08	2,67	5,95	3,53	25,08	9,13	4,46	10,26	2,94			3,99	0,24			0,26	5,50		0,92		6,41			
Rhizosolenia styliformis													4,39					3,03			2,53	3,22		15,61
Rhizosolenia hebetata													3,41				3,06	3,03	0,37	6,23	15,99	1,69	7,72	8,92
Rhizosolenia bergonii		0,08	0,95	1,88		2,11	3,67	1,47				2,40	9,51			10,09	1,52	6,45	5,30	8,18		8,04		10,04
Skeletonema costatum	2,34			1,41												8,14			2,18		4,05			
Thalassionema nitzschioides var nitzschioides	42,99	35,91	42,62	29,18	30,94	40,28	50,66	12,32	42,65	36,81	58,16	48,10	58,29	24,67	24,67	0,00	56,57	42,42	55,06	17,13	20,82	2,02	24,76	22,30
Thalassionema nitzschioides var parva	2,52	9,47	7,62	1,88	5,39	6,82	6,82	18,48	9,80	8,47	9,47	6,99	2,20	11,00	11,00	64,57	12,42	12,42	6,45	21,18	19,33	10,61	10,04	
Thalassionema bacillare	0,18		5,71	1,41		2,81	0,26	10,54				0,60							6,08		46,71			
Thalassiosira fraunfeldii																								
Thalassiosira sp.	3,96	1,45	3,33	8,47		0,70	0,79	2,94				1,40	1,95	15,00		0,26		0,61	0,55	25,55	12,64	9,11		0,37
Thalassiosira anguste - lineata		1,99	1,43	0,00			4,20					1,20										20,58		14,50
Thalassiosira rotula		4,74	1,90	1,41		3,98		7,82										3,33	2,39			6,75		
Thalassiosira angulata			1,19			0,23	3,94					4,19						13,33						
Esporas de Chaetoceros sp.	11,51	15,28	3,10	2,59	5,85	5,85	12,67	25,51	1,47	15,31		0,20					1,21		17,76		3,22	2,60		
SILICOFIAGELADOS																								
Dictyocha fibula	0,18	3,06		1,65				3,81											0,37		4,09			0,37
Dictyocha messamessi	5,04	1,22	3,33	6,82		1,87	3,94					0,20	4,88			4,46		16,06						
Distephanus octonarius	1,08	2,29		0,71	23,78					4,89			0,24			6,30	9,79				7,93			1,49

ANEXO 8. Composición, presencia-ausencia, grado de disolución, grado de preservación y concentración total de diatomeas (x 10<sup>6</sup> valvas.g<sup>-1</sup> sedimento seco) en muestras tratadas.

Estaciones de muestreo Láminas muestreadas Aumento Diámetro campo visión (mm) Longitud laminilla (mm) Número de transectas Área total de transectas (mm2) Área total laminilla (mm2) Volumen muestra (mL) Volumen muestreado (mL) Peso de muesra (g) Preservación	M772-002	M772-005	M772-022	M772-024	M772-026	M772-028	M772-029	M772-031	M772-045	M772-047	M772-050	M772-052	M772-054	M772-056	M772-059	M772-060	M772-064	M772-067	M772-069	M772-070	M772-071	M772-072	M772-075	Disolución
	1 replica 400 X 0,58 22 1 12,86 484 20 0,1 0,09	1 replica 400 X 0,58 22 1 12,86 484 20 0,1 0,19	1 replica 400 X 0,58 22 2 25,72 484 10 0,2 0,12	1 replica 400 X 0,58 22 1 12,86 484 5 0,2 0,13	1 replica 400 X 0,58 22 1 12,86 484 20 0,2 0,13	1 replica 400 X 0,58 22 1 12,86 484 10 0,2 0,12	1 replica 400 X 0,58 22 1 12,86 484 5 0,1 0,13	1 replica 400 X 0,58 22 2 25,72 484 20 0,2 0,13	1 replica 400 X 0,58 22 2 25,72 484 10 0,2 0,12	1 replica 400 X 0,58 22 1 12,86 484 20 0,2 0,14	1 replica 400 X 0,58 22 1 12,86 484 20 0,2 0,12	1 replica 400 X 0,58 22 2 25,72 484 20 0,2 0,12	1 replica 400 X 0,58 22 4 51,44 484 10 0,1 0,13	1 replica 400 X 0,58 22 3 38,58 484 10 0,2 0,14	1 replica 400 X 0,58 22 1 12,86 484 20 0,1 0,12	1 replica 400 X 0,58 22 1 12,86 484 20 0,1 0,12	1 replica 400 X 0,58 22 22 12,86 484 10 0,1 0,12	1 replica 400 X 0,58 22 22 12,86 484 10 0,1 0,12	1 replica 400 X 0,58 22 22 25,72 484 5 0,2 0,13	1 replica 400 X 0,58 22 22 25,72 484 5 0,2 0,12	1 replica 400 X 0,58 22 22 25,72 484 5 0,2 0,12	1 replica 400 X 0,58 22 22 25,72 484 5 0,2 0,12		
BACILLARIOPHYTA																								
<i>Actinocyclus octonarius</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X							A
<i>Asteromphalus flabellatus</i>														X										B
<i>Azpeitia tabularis</i>	X		X														X							B
<i>Azpeitia nodulifer</i>	X		X				X		X															A
<i>Azpeitia</i> sp.	X																							B
<i>Actinocyclus octonarius</i> var. <i>Tenella</i>	X	X		X					X				X											B
<i>Actinocyclus plendens</i>	X			X									X											B
<i>Actinocyclus vulgaris</i>	X			X								X												B
<i>Actinocyclus quinarius</i>	X	X	X	X					X	X		X	X										X	B
<i>Actinocyclus senarius</i>	X	X	X	X						X		X	X											B
<i>Biddulphia alternans</i>	X	X	X						X	X		X	X											C
<i>Coscinodiscus perforatus</i>	X	X	X	X	X				X	X		X	X											B
<i>Coscinodiscus oculus iridis</i>	X			X		X				X			X											B
<i>Coscinodiscus</i> sp.				X			X			X			X											B
<i>Cyclotella striata</i>	X	X	X	X			X		X	X		X	X		X						X			B
<i>Delphineis surirella</i>	X	X	X						X	X		X	X								X			C
<i>Delphineis</i> sp.										X		X												C
<i>Enthomonais alata</i> var <i>alata</i>																								C
<i>Espora Chaetoceros</i> sp.							X		X	X		X	X		X						X			A
<i>Fragiliariopsis doliellus</i>							X					X	X											B
<i>Grammatophora marina</i>													X											C
<i>Hemidiscus cuneiformis</i>													X											C
<i>Navicula</i> sp.	X			X																			X	C
<i>Odontella langicurvus</i>	X																							C
<i>Odontella aurita</i>	X																							C
<i>Lithodesmium undulatum</i>	X																X							C
<i>Lectocylindrus danicus</i>				X																				C
<i>Proboscia alata</i> var <i>alata</i>		X	X	X		X		X											X					B
<i>Pseudonitzschia pungens</i>		X	X	X	X	X		X	X				X						X					B
<i>Roperia tessellata</i>		X	X	X		X			X				X							X				A
<i>Rhizosolenia styliformis</i>	X											X								X				B
<i>Rhizosolenia hebetata</i>									X				X							X				B
<i>Rhizosolenia acuminata</i>													X											B
<i>Rhizosolenia bergonii</i>									X				X							X				B
<i>Skeletonema costatum</i>		X	X	X		X			X				X							X				B
<i>Thalassionema nitzschioides</i> var <i>nitzschioides</i>	X	X	X	X	X	X		X	X	X		X	X		X				X					A
<i>Thalassionema nitzschioides</i> var <i>parva</i>	X	X	X	X	X	X			X			X	X		X				X					A
<i>Thalassionema bacillare</i>	X	X	X	X		X			X			X	X		X				X					B
<i>Thalassiosira</i> sp.	X	X	X	X		X			X			X			X									B
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	X	X	X	X	X	X			X				X											B
<i>Thalassiosira anguste - lineata</i>	X	X	X	X	X	X			X			X												B
<i>Thalassiosira angulata</i>	X	X	X	X		X			X			X												B
<i>Thalassiosira rotula</i>	X	X	X	X		X			X			X												B
Concentración de diatomeas (Mill.valvas/g sed seco)	88,02	57,34	7,62	3,76	2,59	12,69	13,39	0,65	7,52	7,70	22,27	12,04	2,82	0,61	26,08	33,70	2,85	36,90	2,20	1,09	4,22	1,74	1,92	
SIUCOFAGELADOS																								
<i>Dictyocha fibula</i>	X	X	X	X		X										X		X		X				B
<i>Dictyocha messamessi</i>	X	X	X	X		X	X					X	X		X	X		X						B
<i>Distephanus octonarius</i>	X	X		X	X							X	X			X	X	X						B
Concentración de silicoflagelados (Mill.esqueletos/g sed seco)	13,01	3,665	0,528	0,299	0,632	0,489	0,429					0,124	0,309		0,546	7,321	0,043	1,123						

Preservación : Bueno = G; Moderado = M; Malo = B Disolución: Resistentes a la disolución = A, ligeramente resistentes a la disolución = B, Fácil disolución = C

ANEXO 9. Composición, Abundancia (valvas.g<sup>-1</sup> sedimento seco ) y abundancia relativa total (%) del fitoplancton silicio en sedimento superficial en muestras tratadas

ESTACIONES		M772-002	M772-005	M772-022	M772-024	M772-026	M772-028	M772-029	M772-031	M772-045	M772-047	M772-050	M772-052	M772-054	M772-056	M772-059	M772-060	M772-064	M772-067	M772-069	M772-070	M772-071	M772-072	M772-075	TOTAL	Abund. Relativa (%)	
BACILLARIOPHYTAS																											
Actinocyclus octonarius	81	22	2	10	3	7	5	0	0	5	0	0	7	11	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3	157	1,10	
Asteromphalus flabellatus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0,08	
Azpeitia tabularis	22	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0,16	
Azpeitia nodulifer	23	0	9	8	0	0	3	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	63	0,44	
Azpeitia sp.	11	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0,08	
Actinocyclus octonarius var. Tenella	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0,14	
Actinoptychus plendens	14	40	0	9	0	0	0	0	0	20	0	0	41	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	127	0,89	
Actinoptychus vulgaris	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0,04		
Actinoptychus quinarius	14	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	22	0,15		
Actinoptychus senarius	16	37	12	37	0	26	0	0	0	14	79	0	58	2	0	0	0	0	88	0	0	0	0	0	369	2,58	
Biddulphia alternans	10	25	21	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64	0,45	
Coscinodiscus perforatus	20	22	2	23	17	0	0	0	0	3	37	66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	190	1,33	
Coscinodiscus oculus-iridis	30	0	0	2	0	33	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69	0,48	
Coscinodiscus sp.	0	0	0	3	0	0	17	0	0	0	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56	0,39	
Cyclotella striata	26	83	30	37	0	0	27	0	0	61	20	186	88	54	0	39	4	61	173	0	0	121	0	60	1070	7,49	
Delphineis surirella	41	84	13	0	0	0	0	0	0	10	61	0	80	0	0	0	28	0	62	0	0	65	0	12	456	3,19	
Delphineis sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	55	0,39	
Enthomoneis alata var alata	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	6	0,04	
Espora Chaetoceros sp.	93	200	56	11	0	25	32	0	0	6	22	0	44	27	0	25	48	14	0	0	0	0	0	8	611	4,28	
Fragiliariopsis doliolus	0	53	0	21	23	40	30	106	0	0	0	121	24	49	0	0	0	92	4	0	0	131	0	0	694	4,86	
Grammatophora marina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	46	0	0	0	0	0	0	0	57	0,40	
Hemidiscus cuneiformis	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96	0	0	0	0	0	99	0,69	
Navicula sp.	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	10	26	0,18		
Odontella langicruri	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	0,15		
Odontella aurita	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	0,20		
Lithodesmium undulatum	11	56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	71	0,50		
Lectacylindrus danicus	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0,08		
Proboscia alata var alata	0	0	1	8	0	1	22	111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	143	1,00	
Pseudonitzschia pungens	0	5	32	37	131	5	0	0	39	0	0	0	56	1	0	10	1	0	12	0	156	160	0	0	588	4,12	
Roperia tessellata	22	64	34	17	0	39	31	0	12	0	0	0	0	73	0	0	52	0	0	0	0	50	0	0	378	2,65	
Rhizosolenia styliformis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42	71	23	213	1,49		
Rhizosolenia hebetata	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	61	0	0	10	16	7	0	0	0	112	0	208	1,46	
Rhizosolenia acuminata	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	0	0	35	0,25		
Rhizosolenia bergonii	0	1	4	8	0	9	24	0	6	0	0	61	17	105	0	43	45	24	130	0	62	71	0	610	4,27		
Skeletonema costatum	32	27	8	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	7	30	0	0	0	121	0,85		
Thalassionema nitzschioides var nitzschioides	290	470	180	124	116	172	193	109	174	171	223	241	267	84	246	185	116	302	234	135	282	98	109	4521	31,66		
Thalassionema nitzschioides var parva	38	124	34	8	55	23	31	0	47	0	74	39	13	0	0	0	42	17	130	26	12	92	0	7	812	5,69	
Thalassionema bacillare	8	0	0	6	0	12	2	0	64	0	0	3	0	0	0	1	0	0	141	0	0	0	0	1	238	1,67	
Thalassiosira sp.	51	1	0	28	0	2	6	0	0	0	41	0	19	0	0	21	0	2	9	0	0	0	0	13	193	1,35	
Thalassiosira eccentrica	15	21	15	29	15	3	22	0	0	0	0	0	0	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	169	1,18	
Thalassiosira anguste - lineata	37	26	16	11	0	0	23	0	12	4	36	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	178	1,25	
Thalassiosira angulata	25	32	23	17	0	17	0	0	18	0	0	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	174	1,22	
Thalassiosira rotula	38	62	13	19	0	1	0	0	4	0	36	6	0	0	49	34	85	27	55	0	5	71	94	0	599	4,19	
SIUCOFLAGELADOS																											
Dictyocha fibula	78	44	8	3	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	10	0	0	0	0	0	153	1,07	
Dictyocha messamessi	51	19	27	34	0	8	15	0	0	0	0	0	3	77	0	9	44	0	13	0	0	0	0	0	300	2,10	
Distephanus octonarius	25	30	0	3	88	0	0	0	0	0	0	0	5	4	0	0	75	6	14	0	0	0	0	0	250	1,75	

*ANEXO 10 Análisis de t-Student, comparación de medias de las abundancias relativas presentes en columna de agua y sedimento superficial.*

<b>N1</b>	<b>N2</b>	<b>Media1</b>	<b>Media2</b>	<b>GI</b>	<b>Tcal</b>	<b>Ttab</b>
43	68	2,211	1,471	109	0,834	1,984

p<0,05

## 12. GLOSARIO

### **Surgencia**

También llamado afloramiento costero, consiste en el movimiento verticales ascendentes de masas de agua fría y ricas en nutrientes (nitratos, fosfatos, silicatos) desde el fondo marino hacia la superficie producidos principalmente por vientos que soplan sobre la superficie y responsables de mejorar la producción biológica. (BARBER Y SMITH 1981).

### **Sílice biogénica**

También llamada ópalo biogénico, es un compuesto inorgánico que forma parte del esqueleto silíceo de algunos microorganismos marinos como diatomeas, radiolarios, silicoflagelados y su presencia en los sedimentos puede ser usado como un marcador de paleoproductividad, especialmente en regiones de alta productividad (RAGUENEAU *et al.*, 2000).

### **Tafocenosis**

Se refiere al conjunto de restos o señales de organismos que fueron enterrados juntos e incorporados a los sedimentos marinos (AMOR Y GÓMEZ 1985).

### **Zona Mínima de Oxígeno (ZMO)**

Son zonas del océano persistentes que se distribuyen a profundidades intermedias y se caracterizan por presentar condiciones de muy bajo oxígeno ( $< 0,5 \text{ mL}^{-1}$ ) (GRACO *et al.*, 2007).

### **Proxi (es)**

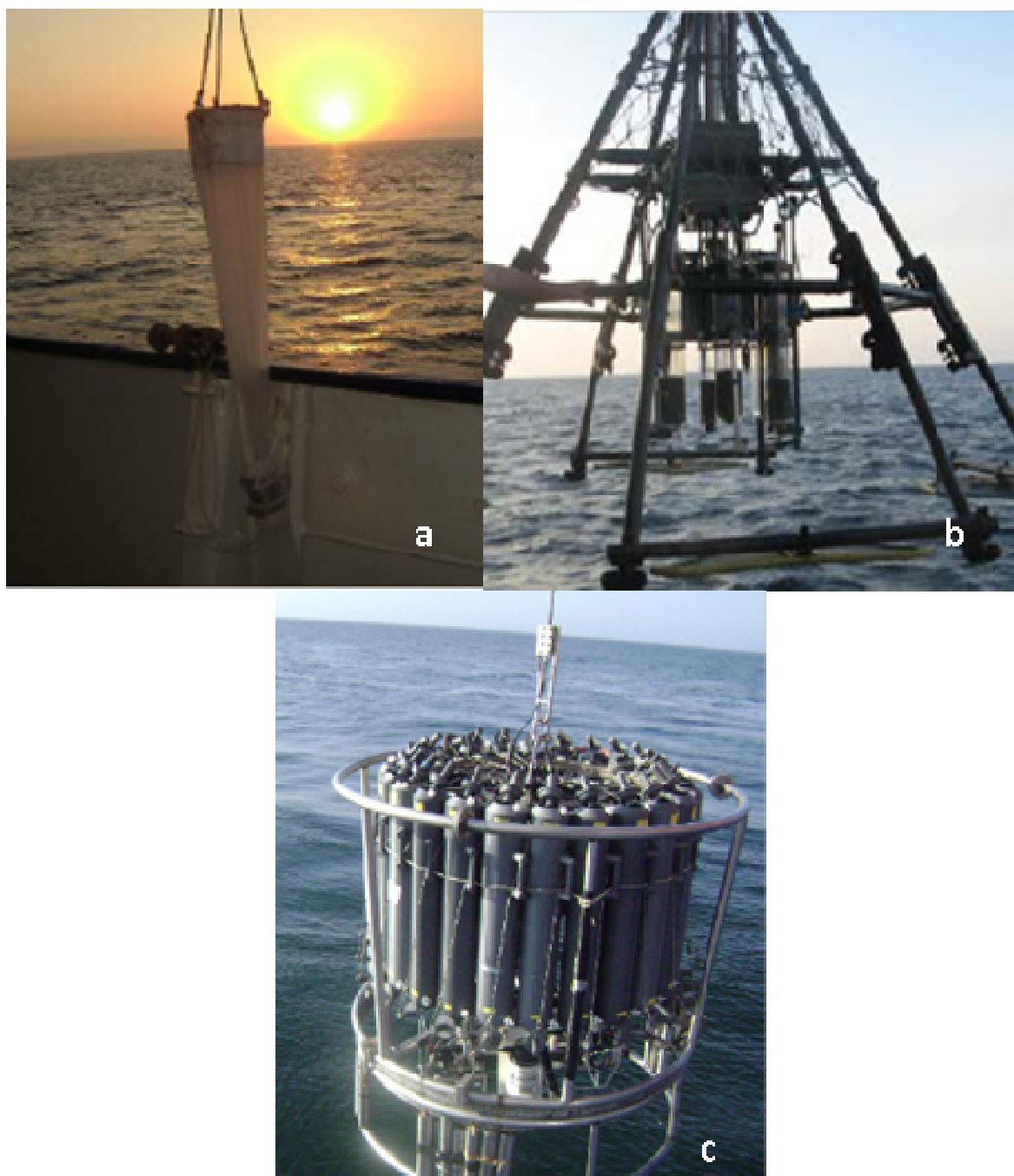
Son aquellas variables, registros de aproximación o indicadores indirectos cuantificables que por su naturaleza (física, química o biológica), están relacionados con diferentes variables paleoclimáticas (CLEMENS Y PRELL, 2003), por ello permiten la reconstrucción de climas pasados y condiciones pasadas del océano, los proxies paleoclimáticos reflejan, con sus oscilaciones, los cambios acontecidos en estos parámetros con el paso del tiempo. (SIFEDDINE *et al.*, 2008; GUTIÉRREZ *et al.*, 2009)

### **Materia orgánica amorfa**

La materia orgánica amorfa (MOA) se refiere a los restos identificados del material orgánico que cae a los sedimentos y está determinado única y exclusivamente por la producción fitoplanctónica generada en las capas superficiales como resultado de procesos de surgencia y de la alta productividad biológica de la zona (VALDÉS *et al.*, 2004).

VALDÉS *et al.*, (2004) identificaron 3 fracciones de MOA: MOA amarilla que representa una materia orgánica muy degradada (refractaria) de estructura dispersa, MOA negra que representa la asociación entre la materia orgánica metabolizable (lábil) y no metabolizable debido a su estructura aglomerada y MOA marrón que representa un estado intermedio entre estas dos fracciones.

## **13. LÁMINAS**

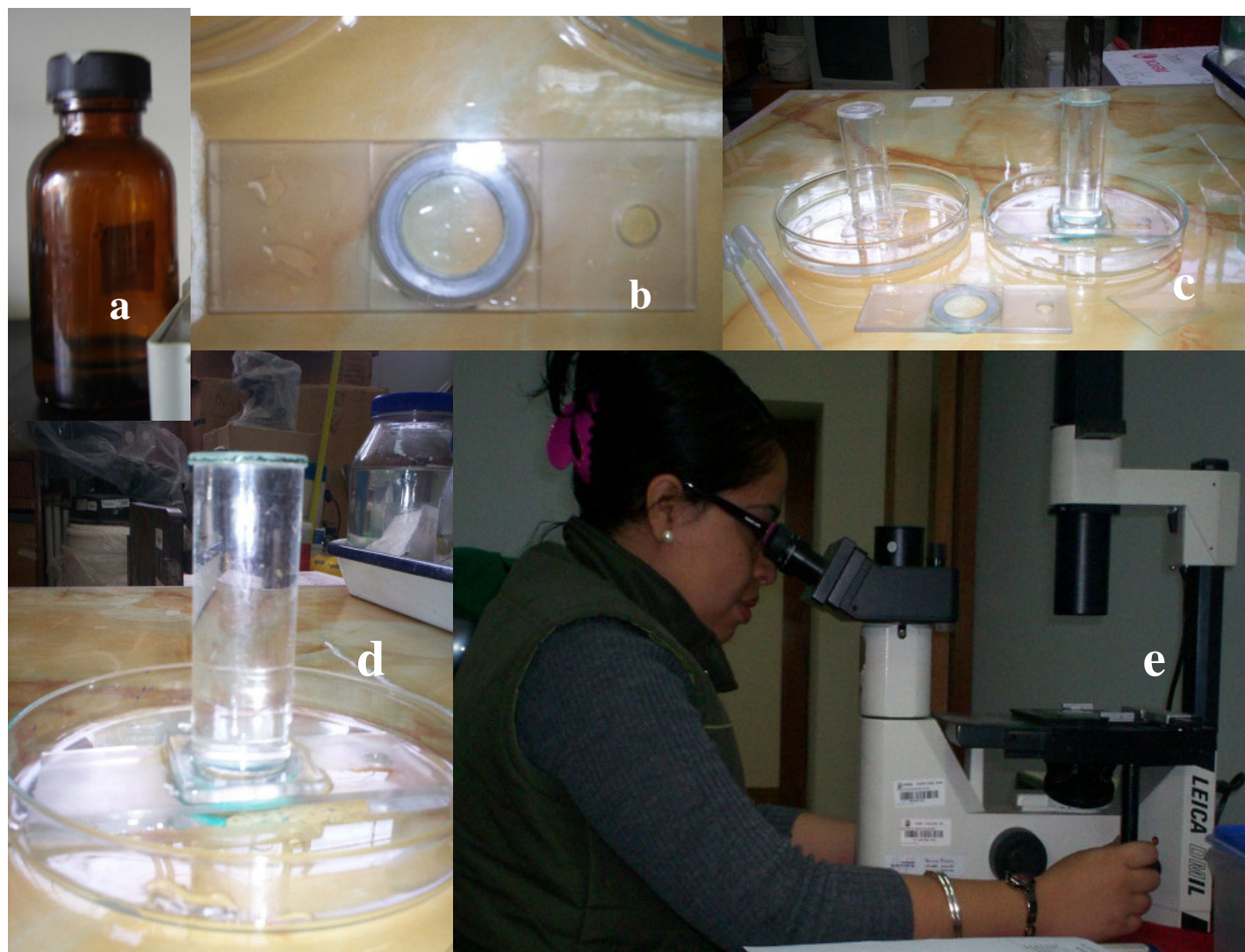


*LÁMINA 1. Equipos de colecta en columna de agua: a) Red estándar de fitoplancton (10  $\mu$ m) para arrastre vertical, b) Colecta de Sedimento superficial: equipo multisacatestigo (MUC). c) colecta de muestras en roseta oceanográfica*





LAMINA 2. Análisis semi cuantitativos arrastre red vertical a) muestras b) cámara de conteo tipo Sedgwick -Rafter c) Análisis en microscopio invertido

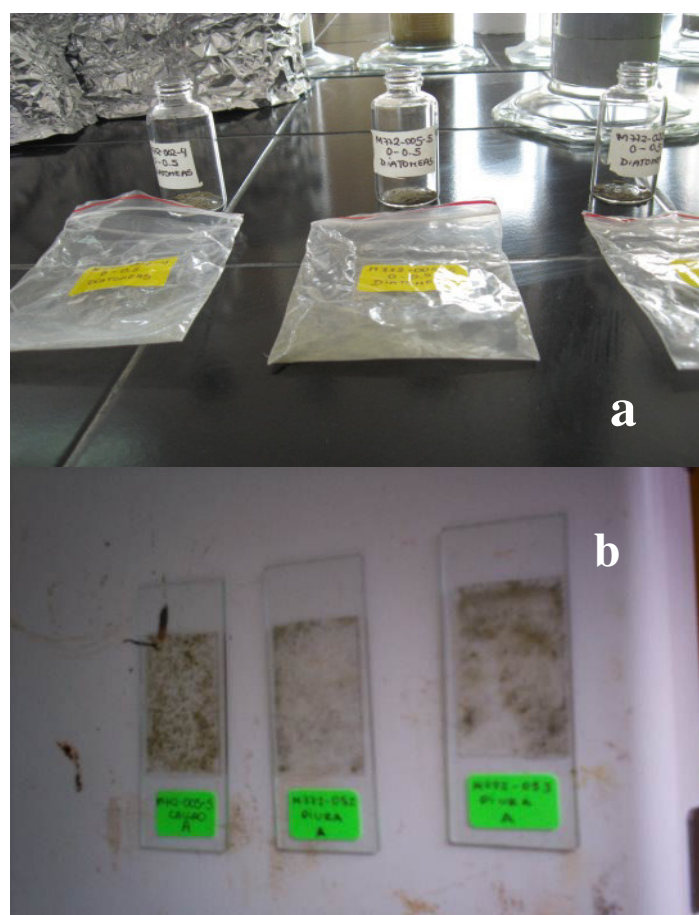


LAMINA 3. Análisis en columna de agua: a) muestra de agua, b) c) y d) cámara de sedimentación de Utermöhl e) análisis cuantitativos en microscopio invertido



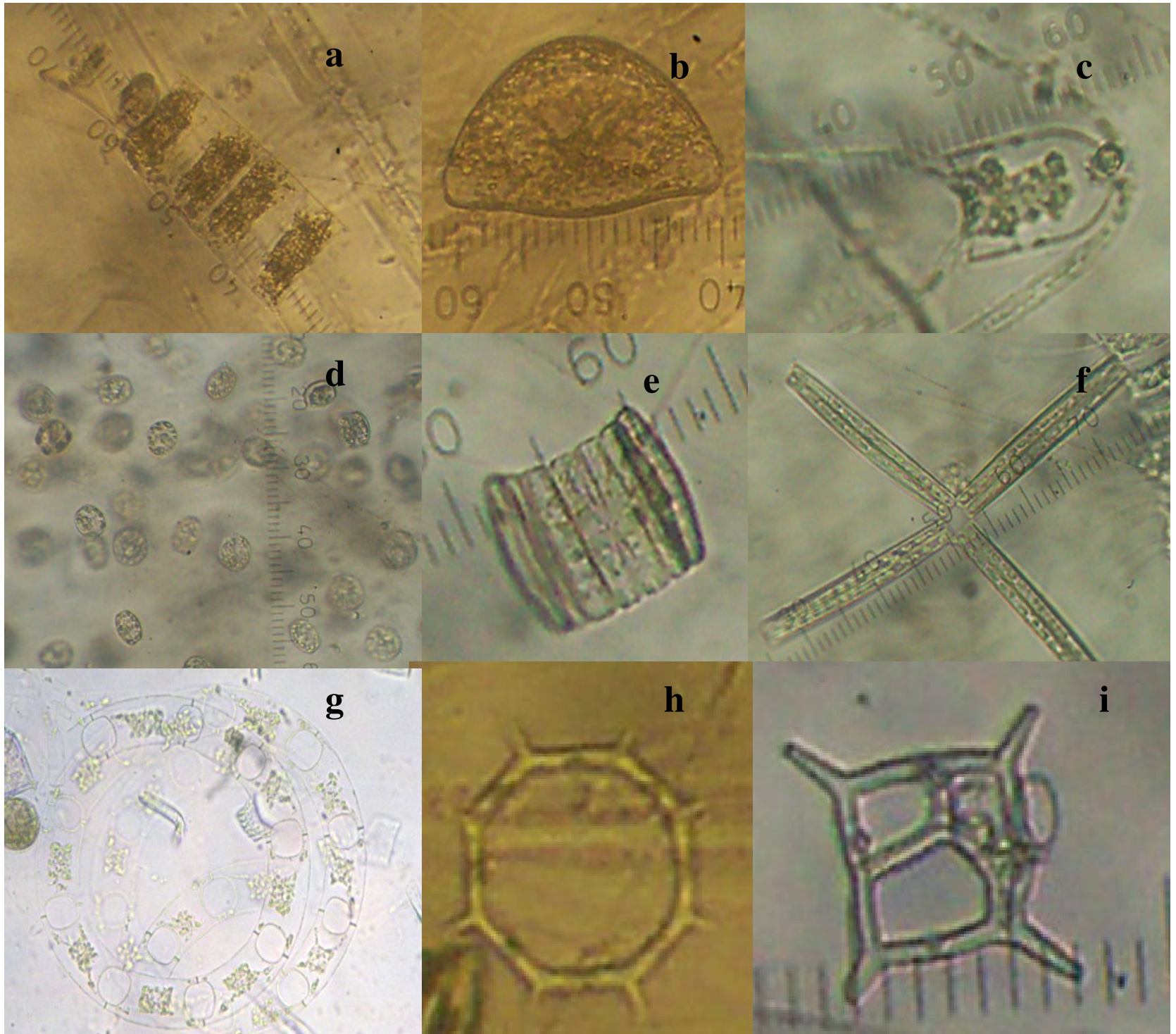


LAMINA 4. Destrucción de materia orgánica y montaje de muestra de sedimento: a) y b) destrucción y material tratado de sedimento superficial, c), d) y e) montaje de muestras

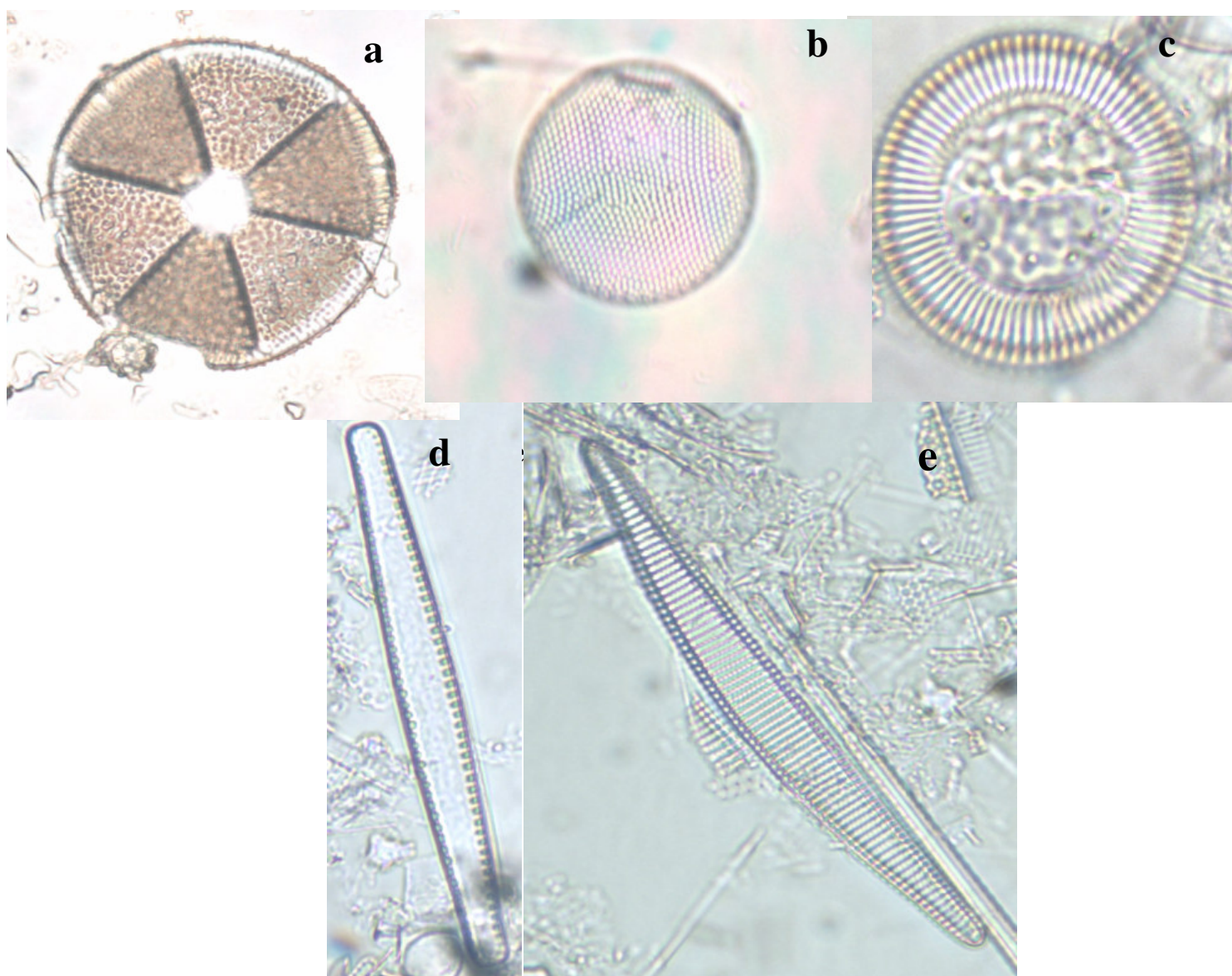


LAMINA 5. Preparación de frotis de sedimento (Smear slides): a) pesado de sedimento seco y b) montaje de láminas



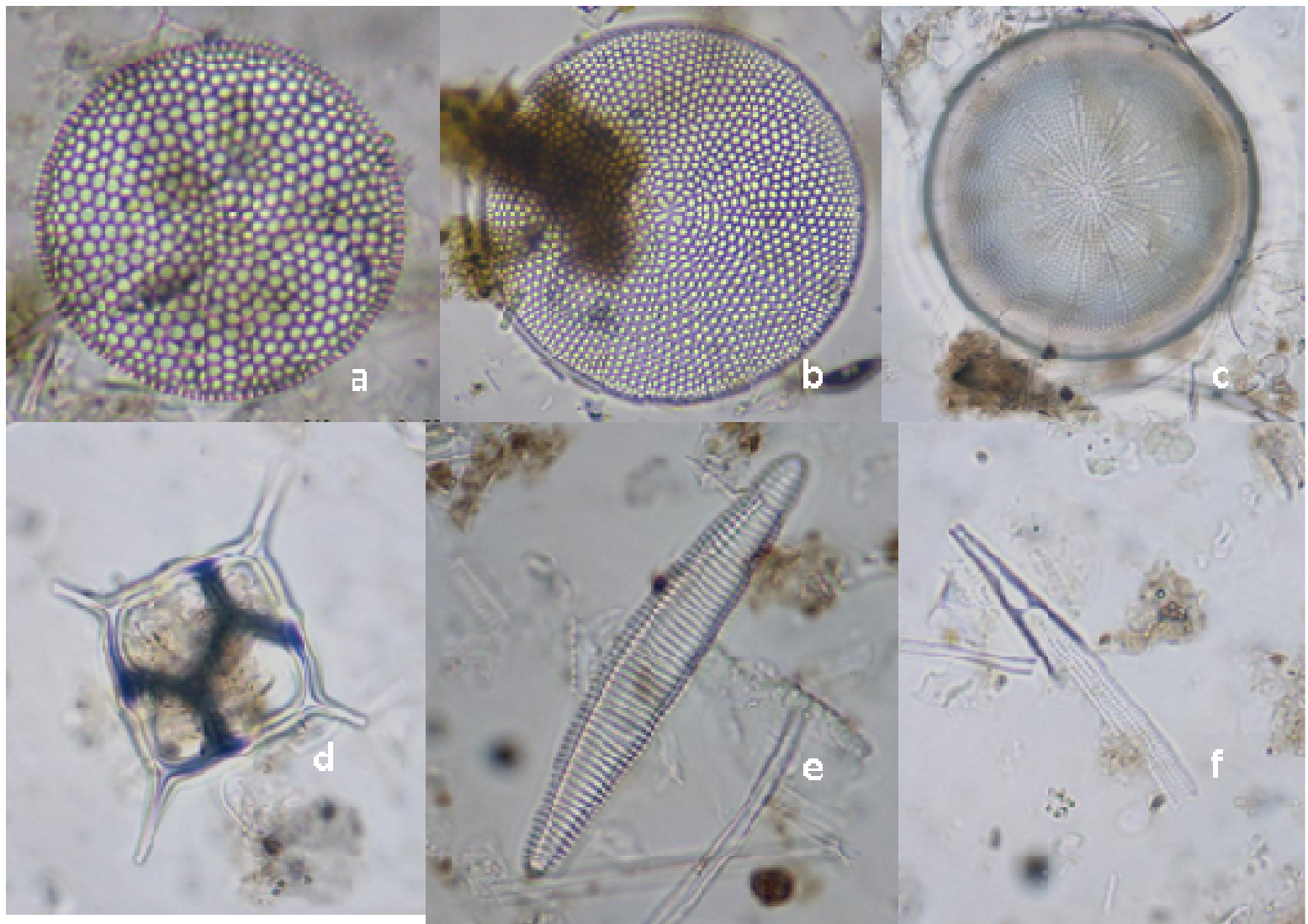


LAMINA 6. Observaciones en columna de agua: a) *Hemiaulus membranaceus* b) *Hemidiscus cuneiformis* c) *Chaetoceros peruvianus* d) *Talassiosira subtilis*, e) *Fragilariopsis doliolus* f) *Thalassionema nitzschioides* g) *Eucampia zodiacus* h) *Dictyocha octonaria* i) *Dictyocha fibula*. 400x de aumento.

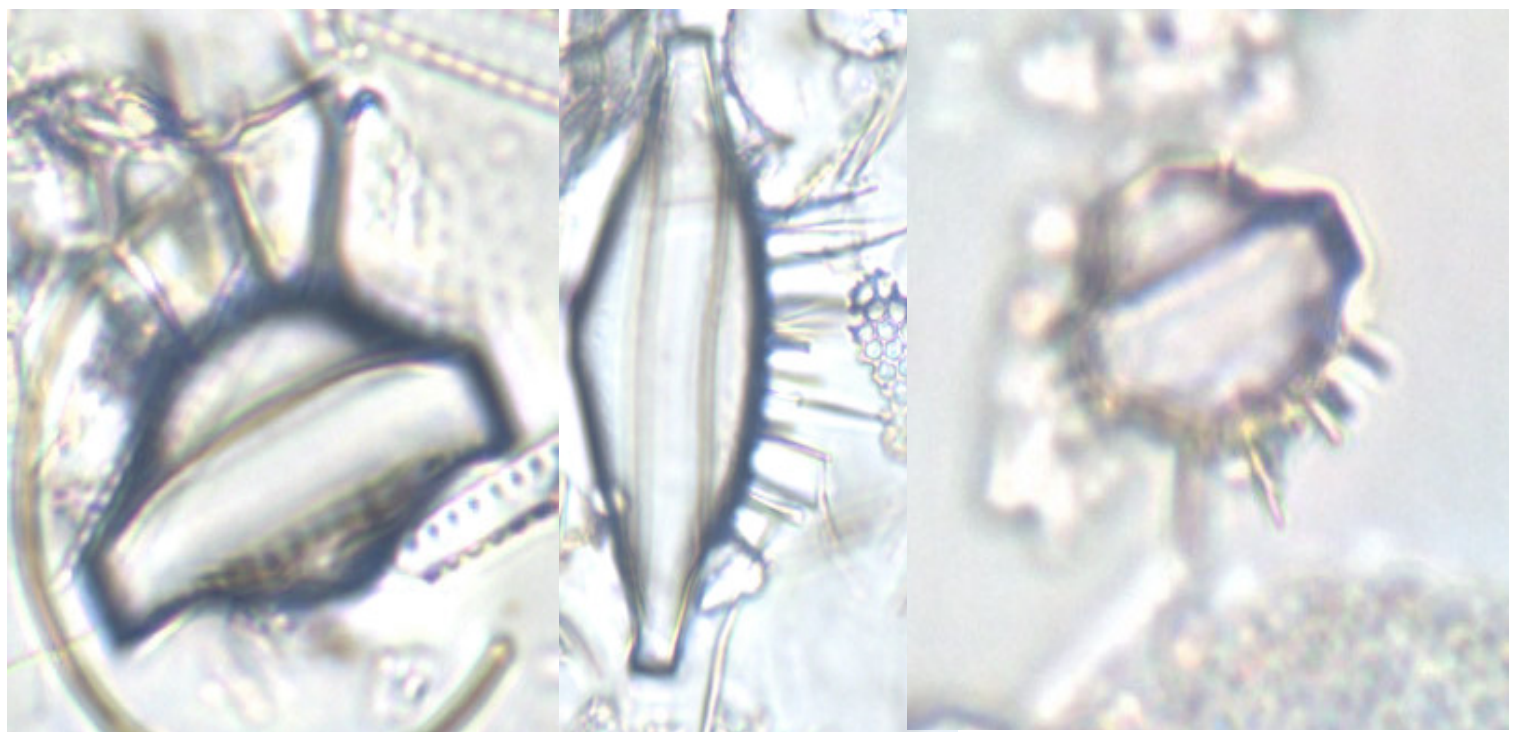


LAMINA 7. Observación de taxones después del tratamiento de materia orgánica: a) *Actinoptychus senarius*, b) *Thalassiosira angustilineata*, c) *Cyclotella striata* d) y e) *Thalassionema nitzschioides* vista valvar .Estas observaciones fueron realizadas a 400x de aumento.





LAMINA 8. Observaciones en Smear slides: a) *Azpeitia nodulifera*, b) *Coscinodiscus perforatus* c) *Actinocyclus octonarius*, d) *Dictyocha fibula* e) *Thalassionema nitzschioides* f) *Rhizosolenia hebetata*. Estas observaciones fueron realizadas a 400x de aumento.



LAMINA 9. Esporas de resistencia de *Chaetoceros* spp.